

**ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE PELETS  
ELABORADOS A BASE DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES PARA  
SU USO EN RUMIANTES**

**ALBERTO GUERRERO RODRÍGUEZ**

**TESIS**

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

**DOCTOR EN CIENCIAS  
EN ZOOTECNIA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2013**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE PELETS ELABORADOS A  
BASE DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES PARA SU USO EN  
RUMIANTES

TESIS

POR:

ALBERTO GUERRERO RODRÍGUEZ

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

DOCTOR EN CIENCIAS  
EN ZOOTECNIA

COMITÉ PARTICULAR:

Asesor principal: Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez


Asesor: Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

Asesor: Dr. Ramón Florencio García Castillo

Asesor: Dr. Fernando Ruiz Zárate

Asesor: Dra. Diana Jasso Cantú

Asesor: Dr. Jairo Iván Aguilera Soto

  
Dr. Fernando Ruiz Zárate  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2013

## **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 nuevamente: Lucía Imelda Rodríguez Bustos y Alberto Guerrero Hernández, por sus sacrificios, apoyo incondicional y enseñanzas otorgadas a lo largo de mi vida.

A mi asesor principal la Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez por la confianza depositada en mí para realizar este trabajo pero especialmente por la atención y el apoyo que muestra con cada uno de sus alumnos y asesorados

A mi comité de asesores:

Dr. Jesús M. Fuentes Rdz., Dr. Ramón F. García Castillo, Dr. Fernando R. Zárate, Diana Jasso Cantú y Dr. Jairo I. Aguilera Soto.

Por compartir sus conocimientos y por su valiosa colaboración en la elaboración de este proyecto.

A Grecia M. García Vargas por el impulso y el apoyo incondicional que recibí de su parte para la culminación de este trabajo.

A los laboratoristas Laura Maricela Lara López y Carlos Arévalo por su amable colaboración para el análisis de muestras del presente estudio.

A compañeros de trabajo Pedro Guerrero, Karina Castillo, Miguel A. Barrientos, Alejandro Cumplido, Martín Ruano y Jesús Nieves.

A las instituciones participantes UAAAN, Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma, UAZ, UA de C., CONACYT y BIOGENIX.

## COMPENDIO

# ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE PELETS ELABORADOS A BASE DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES PARA SU USO EN RUMIANTES

## TESIS

POR:

**ALBERTO GUERRERO RODRÍGUEZ**

**DOCTOR EN CIENCIAS EN ZOOTECNIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**Buenvista, Saltillo Coahuila, México, Junio 2013**

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

**Palabras clave:** subproductos agroindustriales, masilla, levadura, pelet, digestibilidad, respuesta animal.

En los sistemas de producción animal es indudable la importancia que representa la alimentación sobre la eficiencia biológica y económica. Generalmente se mantiene una búsqueda constante de fuentes alternativas de alimentación que satisfagan las necesidades nutricionales del animal al menor costo. En este contexto diversas industrias generan subproductos con un uso potencial en la alimentación de rumiantes tal es el caso de los subproductos de la industria cervecera (masilla o granos de cervecería y levadura) los cuales pueden ser utilizados en combinación con otros ingredientes no convencionales. A pesar de la disponibilidad, bajo costo, impacto ecológico y a

las diversas propiedades nutricionales encontradas en estos subproductos, en la actualidad no se están aprovechando de manera óptima.

Aun así tales subproductos son apropiados para la formulación de ingredientes con un alto potencial productivo y comercial siempre y cuando se aumente la estabilidad del producto final. Para ello puede ser conveniente procesar los subproductos mediante un procedimiento que aproveche las características fisicoquímicas de los mismos. En este sentido una alternativa puede ser el peletizado de los subproductos. Por lo anterior, se llevo a cabo un estudio con el objetivo de obtener un nuevo producto estable para rumiantes y de buen valor nutricional. Se elaboraron cuatro productos peletizados con diferentes niveles de masilla y levadura de cerveza: PM (20 % de masilla), PL (15% de levadura), PML (18% de masilla y 5% de levadura) y un producto peletizado base (PB) con 5% de masilla y 9% elaborado para evaluar el efecto del proceso de extrusión sobre la digestibilidad del alimento. Se realizaron tres experimentos: degradación *in vitro* (DIV), digestibilidad *in vivo* y prueba de comportamiento. Los niveles de DIV de los productos peletizados no fueron alterados durante los tiempos 0, 6, 24, 48, 72 y 96 horas ( $P>0.05$ ). Sin embargo la DIV fue menor ( $P<0.05$ ) para el PML durante el tiempo 12h, no obstante este efecto se invirtió al ajustar los resultados a distintas kp, observándose mayores niveles de degradación para con el PML para valores de kp de 0.04 a 0.09. Durante la digestibilidad *in vivo* los coeficientes de digestión del la FDN y del EE incrementaron cuando se adicionaron niveles de PB en base al concentrado de hasta 45 y 85% respectivamente ( $P<0.01$ ). Lo anterior provocó aumentos ( $P<0.01$ ) sobre la digestión global de la MS (68%) cuando el PB se usó hasta en un 65%. Los parámetros energéticos y los coeficientes de balance de nitrógeno no fueron alterados con la adición del PB ( $P>0.05$ ). Durante la prueba de comportamiento la GDP fue mayor ( $P<0.05$ ) para el PM y PL (370 y 400 g/d respectivamente) en comparación a la dieta testigo y al PML (270 y 250 g/d respectivamente). El CMS y la CA no fueron alterados ( $P>0.05$ ). Combinar masilla y levadura impacta positivamente las

condiciones ruminales, sin embargo, esta combinación en un producto peletizado puede reducir la calidad del mismo utilizando niveles de subproductos mayores al 20% reduciendo las propiedades positivas de la interacción entre subproductos. No obstante el PM y el PL pueden mejorar los parámetros ruminales y el perfil metabólico en suero sanguíneo con lo que aumenta a su vez el rendimiento productivo y algunos parámetros de la canal (rendimiento y deposición de grasa). Utilizar cualquiera de los productos peletizados permite reducir los costos por concepto de alimentación por lo que representan una opción viable como ingrediente en la alimentación de ovinos.

## ABSTRACT

With the purpose of testing the hypothesis that the use of processed by-products improves biological efficiency in ruminants, four new pellets were developed with different levels of wet brewers grain and yeast: PM (20% of brewers grain wet), PL (15% yeast), CP (18% of brewers grain wet and 5% yeast) and a pelleted product base (PB) with 5% of brewer grain wet and 9% yeast, it was developed to evaluate the effect of the extrusion process on feed digestibility. Three experiments were conducted: *in vitro* degradation (DIV), *in vivo* digestibility and performance test. DIV levels of pelleted products were not altered during times 0, 6, 24, 48, 72 and 96 hours ( $P > 0.05$ ). However the DIV was lower ( $P < 0.05$ ) for the PML during the 12h time, although this effect was reversed by adjusting the results to different kp, with higher levels of degradation with the PML for kp values of 0.04 to 0.09. During the *in vivo* digestibility test, coefficients of NDF digestion and EE increased when levels of PB was added to the concentrate according to 45 and 85% respectively ( $P < 0.01$ ). This resulted in increases ( $P < 0.01$ ) on the overall digestion MS (68%) when the PB was used up to 65%. The energy parameters and coefficients of nitrogen balance were not altered by the addition of PB ( $P > 0.05$ ). During the performance test ADG was higher ( $P < 0.05$ ) for the PM and PL (370 and 400 g/d, respectively) compared to the control diet and the PML (270 and 250 g/d, respectively). The DMI and the CA were not altered ( $P > 0.05$ ). Combining wet brewers grain and yeast, produce positively impacts on rumen conditions, however, this combination in a pelletized product may reduce the quality thereof, when by-products are used at levels greater than 20%. However the PM and PL can improve ruminal parameters and serum metabolic profile which increases in turn the production yield and some parameters of the carcass quality (yield and fat deposition). Use of any of the pelleted products can reduce costs by way of feeding, so they represent a viable option as an ingredient in feed for sheep.

**Key words:** agroindustrial byproducts, wet brewers grain, yeast, pellet, digestibility, animal response.

## ÍNDICE

I INTRODUCCIÓN .....	1
II REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Subproductos agroindustriales.....	4
2.1.1 Subproductos de la industria cervecera .....	7
2.1.1.1 Granos de cervecería.....	7
2.2.1.1.1 Proceso de obtención .....	8
2.2.1.2.2 Uso de granos de cervecería en la alimentación del rumiante .....	10
2.1.1.2 Levadura de cerveza.....	17
2.1.1.2.1 Propiedades nutricionales de la levadura previo al proceso de elaboración de cerveza .....	17
2.1.1.2.2 Levadura en la alimentación del rumiante .....	18
2.1.2 Procesado de subproductos en la alimentación del rumiante .....	22
2.1.2.1 Peletizado y extrusión de materiales.....	23
2.1.2.2 Proceso de peletizado .....	24
2.1.2.3 Concepto de calidad en el proceso de peletizado.....	27
2.1.2.3.1 Formulación.....	27
2.1.2.3.2. Tamaño de partícula .....	30
2.1.2.3.3 Acondicionamiento de la masa alimenticia.....	32
2.1.2.3.4 Especificaciones del dado.....	34
2.1.2.3.5 Consistencia y calidad del producto final en el proceso de peletizado.....	34
2.1.3 Efecto del procesado del alimento en el metabolismo del rumiante.....	35
2.1.3.1 Efecto del peletizado sobre la calidad nutricional.....	35
2.1.3.1.1 Regulación de salida de las partículas del rumen.....	36
2.1.3.1.2 Tamaño de la partícula .....	36
2.1.3.1.3 Densidad de la partícula.....	37
2.1.3.1.5 Tasa de renovación ruminal (turnover) .....	39
2.1.3.2 Pelets elaborados a base de subproductos en alimentación de rumiantes .....	40
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.1 Localización del área de estudio.....	47
3.2 Obtención de los subproductos.....	47
3.3 Caracterización y evaluación de la materia prima .....	48



3.3.1 Análisis Bromatológico .....	48
3.3.2 Espectrofotometría Infrarroja.....	48
3.3.3 Evaluación de la degradación ruminal.....	49
3.4 Formulación de mezclas alimenticias con subproductos agroindustriales.....	49
3.5 Elaboración del producto peletizado .....	50
3.6 Selección de mezclas después del procesado.....	50
3.7 Elaboración de un producto base para el estudio de digestibilidad .....	52
3.8 Caracterización química y evaluación de la estabilidad de los productos peletizados .....	53
3.8.1 Análisis Bromatológico .....	53
3.8.2 Producción de micropartículas (“fines”).....	53
3.8.3 Degradación <i>in vitro</i> .....	54
3.8.4 Ajuste de la cinética de degradación a diferentes tasas de flujo ruminal.....	54
3.9 Prueba de digestibilidad <i>in vivo</i> .....	55
3.9.1 Prueba de alimentación .....	55
3.9.2 Tratamientos .....	55
3.9.3 Variables determinadas en el experimento.....	56
3.9.4 Cálculo de las variables. ....	56
3.9.4.1 Cálculos para determinar los coeficientes de digestibilidad .....	56
3.9.4.2 Valoración energética .....	57
3.9.4.2.1 Cálculo de nutrientes digestibles totales (NDT) .....	57
3.9.4.2.2 Cálculo de ED, EM, ENm y ENg.....	57
3.9.4.3 Cálculos de balance de N .....	58
3.10 Evaluación de las dietas experimentales en prueba de comportamiento .....	58
3.10.1 Prueba de alimentación .....	59
3.10.1.1 Adaptación de los animales.....	59
3.10.1.2 Primera etapa.....	59
3.10.1.3 Segunda etapa.....	60
3.10.2 Servicio de alimento .....	61
3.10.3 Variables determinadas en la prueba de comportamiento.....	62
3.10.3.1 Comportamiento productivo.....	62
3.10.3.2 Determinación de metabolitos .....	63

3.10.3.3 Determinación de ácidos grasos volátiles .....	63
3.10.4 Evaluación de calidad de la canal .....	63
3.10.4.1 Rendimiento de la canal .....	63
3.10.4.2 Área del ojo de la costilla .....	64
3.10.4.3 Grasa de cobertura .....	64
3.10.4.4 Marmoleo .....	64
3.10.4.5 Color .....	64
3.11 Análisis estadístico .....	65
3.11.1 Pruebas de degradación .....	65
3.11.2 Prueba de digestibilidad <i>in vivo</i> .....	65
3.11.3 Prueba de comportamiento .....	66
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	67
4.1 Caracterización de los subproductos de cervecería .....	67
4.1.1 Análisis Bromatológico .....	67
4.1.2 Espectrofotometría Infrarroja .....	68
4.1.3 Degradación ruminal .....	69
4.2 Evaluación de las mezclas peletizadas .....	71
4.2.1 Cinética de degradación de los productos peletizados .....	72
4.2.2 Degradación de MS ajustada a diferentes tasas de flujo ruminal .....	75
4.2.3 Evaluación de estabilidad del pelet .....	77
4.3 Prueba de digestibilidad <i>in vivo</i> con el producto peletizado base (PB) .....	79
4.3.1 Coeficientes de digestibilidad .....	79
4.3.2 Evaluación del contenido energético .....	87
4.3.3 Comportamiento de los coeficientes del balance de nitrógeno .....	88
4.4 Prueba de comportamiento .....	89
4.4.1 Respuesta productiva .....	89
4.4.2 Concentraciones de ácidos grasos volátiles y niveles de pH .....	93
4.4.3 Perfil metabólico en suero sanguíneo .....	95
4.4.4 Evaluación de calidad de la canal .....	96
4.4.5 Tendencias de costos .....	99
V CONCLUSIONES .....	102
VI LITERATURA CITADA .....	103

## Índice de cuadros

Cuadro 3.1.- Fórmulas alimenticias elaboradas a base de diferentes subproductos agroindustriales.....	50
Cuadro 3.2.- Composición del “producto peletizado base” utilizado para evaluar el consumo, coeficientes de digestión de nutrientes, balance de nitrógeno y perfil ruminal en ovinos mediante prueba de digestibilidad <i>in vivo</i> .....	52
Cuadro 3.3.- Ingredientes y cantidades utilizadas del producto base (PB) para cada tratamiento aplicado en la prueba de digestibilidad <i>in vivo</i> .....	55
Cuadro 3.4.- Fórmulas alimenticias utilizadas durante la primera etapa de la prueba de comportamiento en ovinos.....	60
Cuadro 3.5.- Fórmulas alimenticias utilizadas durante la segunda etapa de la prueba de comportamiento en ovinos.....	61
Cuadro 4.1.- Evaluación bromatológica de los subproductos de cervecería utilizados como materia prima en la presente investigación.....	67
Cuadro 4.2.- Análisis bromatológico, correspondiente a los cuatro tratamientos utilizados en esta investigación.....	71
Cuadro 4.3.- Nivel de degradación de la materia seca de diferentes tratamientos elaborados a base de subproductos agroindustriales.....	72
Cuadro 4.4.- Nivel máximo de degradación de la materia seca (MDMS) y tiempo requerido para alcanzar este nivel en diferentes mezclas alimenticias elaboradas a base de subproductos de cervecería.....	75
Cuadro 4.5.- Nivel de degradación de los tratamientos elaborados a base de subproductos, ajustados a diferentes tasas de flujo ruminal.....	76

Cuadro 4.6.- Estabilidad del pelet en base al porcentaje de micropartículas de los diferente productos peletizados generadas durante el procedimiento de tamizado.....	77
Cuadro 4.7.- Caracterización nutricional de los tratamientos utilizados durante la prueba de digestibilidad <i>in vivo</i> con el producto peletizado base (9% de masilla y 5% de levadura).....	79
Cuadro 4.8.- Consumo diario de materia seca (CMS) y coeficientes de digestibilidad de los componentes de la dieta para ovinos alimentados con diferentes niveles de PB en base al concentrado.....	80
Cuadro 4.9.- Valores energéticos de la dieta utilizada en la alimentacion de ovinos, con diferentes niveles de PB en base al concentrado.....	87
Cuadro 4.10.- Coeficientes de balance de nitrógeno (BN), nitrógeno retenido consumido NRC (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) en ovinos alimentados con diferentes niveles de PB en base al concentrado.....	88
Cuadro 4.11.- Comportamiento productivo de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos de cervecería.....	90
Cuadro 4.12.- Concentraciones de ácidos grasos volátiles y niveles de pH en liquido ruminal en ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos de cervecería.....	93
Cuadro 4.13.- Perfil metabólico en suero sanguíneo de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados.....	95
Cuadro 4.14.- Perfil metabólico en suero sanguíneo de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados.....	97

## Índice de figuras

Figura 3.1.- Ejemplos de fórmulas alimenticias a base de subproductos que fueron descartadas en el estudio: A) fórmula con 25 % de granos de cervecería, B) fórmula con 18% de levadura, C) fórmula con 18% de levadura y 5% de granos de cervecería y D) fórmula con 15% levadura y 10 % de granos de cervecería.....	51
Figura 3.2.- Fórmulas a base de subproductos aceptadas en el estudio. A) fórmula 2: pelets con 20% de granos de cervecería; B) fórmula 4: pelets con 15% de levadura; y C) fórmula 8: pelets con 18% de granos de cervecería y 5% de levadura.....	51
Figura 3.3.- Colocación de la plantilla para medir el área del ojo de la costilla.....	64
Figura 4.1.- Espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier para los subproductos de cervecería (levadura y masilla) en forma húmeda y en base seca.....	68
Figura 4.2.- Cinética de degradación de diferentes combinaciones (%) de subproductos de cervecería (levadura:L y masilla o granos de cervecería M).....	70
Figura 4.3.- Cinética de degradación de la materia seca estimada como porcentaje de degradación <i>in vitro</i> para cada uno de los cuatro tratamientos.....	74
Figura 4.4.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DMS en dietas con diferentes niveles de inclusión de PB en base al concentrado.....	81
Figura 4.5.- Comportamiento del consumo de materia seca en ovinos alimentados con diferentes niveles de PB en base al concentrado.....	82

Figura 4.6.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DEE en dietas con diferentes niveles de inclusión de PB en base al concentrado.....	85
Figura 4.7.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DFDN en dietas con diferentes niveles de inclusión de PB en base al concentrado.....	86
Figura 4.8.- Costo por kg de alimento para cada tratamiento utilizados durante la prueba de comportamiento.....	99
Figura 4.9.- Relación de costo requerido para generar un kilo de producto en ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos agroindustriales.....	100

## I INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos a nivel mundial genera la necesidad de que los sistemas productivos sean biológicamente más eficientes, condición que se desea alcanzar respetando la eficiencia económica. En los sistemas de producción animal es indudable la importancia que representa la alimentación en cualquiera de estas dos eficiencias, por lo que generalmente se mantiene una búsqueda constante de fuentes alternativas de alimentación que satisfagan las necesidades nutricionales del animal al menor costo.

En este sentido, diversas industrias generan subproductos que cuentan con el potencial para ser usados en la alimentación de rumiantes, tal es el caso de los subproductos de la industria cervecera (masilla o granos de cervecería y levadura). Estos subproductos, además de llegar a ser muy apetecibles al animal, son, por el proceso a que es sometida la materia prima, buena fuente de proteína no degradable en el rumen (Satter y Whitlow, 1997; Miazzo y Kraft, 1998, Westendorf y Wohlt, 2002) relevante en animales con altos niveles de producción.

### 1.1 Justificación

A pesar de la disponibilidad, bajo costo, impacto ecológico 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 de rumiantes, constituyendo la presentación física (contenido de humedad y tamaño de partícula) su principal

limitante ya que representa problemas de manejo alimenticio y de almacenamiento (Guerrero, 2011).

Aún así, tales subproductos son apropiados para la formulación de ingredientes con un alto potencial productivo y comercial siempre y cuando se aumente la estabilidad del producto final. Para ello puede ser conveniente procesar los subproductos mediante un procedimiento que aproveche las características fisicoquímicas de los mismos. En este sentido una alternativa puede ser el peletizado de los subproductos. El peletizado consiste en la elaboración de comprimidos mediante la aplicación combinada de calor, presión y temperatura (Bhenke, 2006). Dicho procedimiento demanda para su aplicación cierto contenido de humedad: 10% como mínimo y 25% como máximo (Hejft, 2002; Obidziński, 2007; Escobar *et al.*, 2010) situación que puede verse favorecida con la inclusión de levadura y/o granos de cervecería. Lo anterior puede bajo determinadas condiciones aumentar la calidad final del producto alimenticio y con ello generar un nuevo alimento de buena calidad y de costo accesible para su uso en rumiantes.

## **1.2 Objetivo general:**

Elaborar un nuevo producto alimenticio para rumiantes estable y de buen valor nutricional a base de subproductos agroindustriales de la región norte del país.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- ❖ Analizar las propiedades básicas de los subproductos de cervecería (masilla y levadura) mediante análisis químicos y pruebas de degradación.
- ❖ Formular mezclas alimenticias que incluya masilla y/o levadura de cerveza en combinación con diversos residuos agroindustriales (bagazo



de maíz, harina de papa, residuos de frituras, salvado de trigo, melaza, pollinaza y zeolita).

- ❖ Elaborar un producto peletizado a base de las mezclas de subproductos.
- ❖ Optimizar la combinación de subproductos mediante la selección de la(s) mezcla(s) que mejor calidad de pelet genere (n).
- ❖ Evaluar fisicoquímicamente el nuevo producto formado.
- ❖ Evaluar parte de la digestión del nuevo producto formado.
- ❖ Evaluar la respuesta animal al ser alimentado con el nuevo producto.
- ❖ Analizar la tendencia de costos al utilizar el nuevo producto peletizado

### **1.3 Hipótesis:**

La utilización de subproductos agroindustriales procesados (mediante extrusión) mejoran el proceso digestivo del rumiante impactando con esto la eficiencia biológica del animal.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Subproductos agroindustriales

Los subproductos o residuos son partes que quedan de un todo, de un cuerpo luego que han sufrido un proceso de transformación natural o artificial que puede modificar o no sus características físico-químicas y estructurales iniciales. La heterogeneidad del producto final y la continua renovación tecnológica que se incorpora a los procesos de obtención de la mayoría de los subproductos hace que dentro de una misma denominación se incluyan materias que pueden diferir en sus características físicas y químicas. Sztern y Pravia (2001) señalan que en términos estrictamente físicos, los residuos o subproductos son consecuencia de la transformación de la materia y la energía.

Como ya se señaló, la clasificación de los residuos, admite diversos enfoques y la consideración de distintos parámetros. El criterio aplicable para la clasificación estará sujeto a los objetivos planteados (un ejemplo se puede ver en el cuadro 2.1). Para la clasificación, se consideran entre otros parámetros: origen o actividad emisora, toxicidad y peligrosidad, tamaño, naturaleza química de los materiales emisores, parámetros físico-químicos en general (Sztern y Pravia, 2001; Solano *et al.*, 2011).

Cuadro 2.1.- Clasificación de los subproductos con potencial uso en la alimentación animal en base a su origen.

<b>Subproductos Pecuarios</b>	<b>Subproductos Agroindustriales</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estiércoles               <ul style="list-style-type: none"> <li>Pollinaza</li> <li>Gallinaza</li> <li>Cerdaza</li> <li>Bovino</li> </ul> </li> <li>• Harinas               <ul style="list-style-type: none"> <li>Carne-hueso</li> <li>Sangre</li> <li>Plumas</li> <li>Pescado</li> </ul> </li> <li>• Contenido ruminal</li> <li>• Suero de leche</li> <li>• Grasas               <ul style="list-style-type: none"> <li>Sebo de res</li> <li>Manteca de puerco</li> <li>Grasa de pollo</li> <li>Grasa de origen marino</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rastrojos y esquilmos</li> <li>• Residuos de frutas y verduras</li> <li>• Residuos de granos de cereales</li> <li>• Residuos de oleaginosas</li> <li>• Melaza</li> <li>• Subproductos de destilería</li> <li>• Panadería</li> <li>• Aceites</li> <li>• Cervecería               <ul style="list-style-type: none"> <li>Levadura</li> <li>Masilla</li> </ul> </li> <li>• Industria de Golosinas</li> <li>• Industria de frituras</li> </ul>

Tal como se expresa el cuadro anterior, entre los residuos animales se incluyen excrementos sólidos, semisólidos (estiércoles) y líquidos; purines desechos de sacrificio, cadáveres, sobrantes de suero y leche, etc. Los estiércoles y purines son los residuos que presentan mayor interés por la concentración espacial que alcanzan en producciones como la lechera, avicultura, engordas, entre otros y por el impacto ambiental negativo que producen en la mayoría de los casos (Sztern y Pravia, 2001).

Cabe señalar que el contenido de humedad y características nutricionales que presentan los subproductos es relativo, dependiendo de varios factores: características de los productos, ciclo de producción, tiempo de exposición a los factores climáticos, manejo, condiciones de la disposición, etcétera. Esta situación conduce a que los subproductos también puedan ser clasificados de acuerdo a sus propiedades o cualidades nutricionales (cuadro 2.2).

Cuadro 2.2.- Clasificación de algunos subproductos son uso potencial en la alimentación animal en base a sus características nutritivas (SAGARPA, 2009).

<b>Concepto y material</b>	<b>MS (%)</b>	<b>PT (%)</b>	<b>Fibra (%)</b>	<b>EM (Mcal/kg)</b>
<b>Subproductos energéticos</b>				
Melaza	75	3.5	6.7	2.7
Salvado	89	17.4	11.2	3.4
Subproductos de molinería	92	11.2	1.4	3.5
Pulpa de cítricos	91	6.7	12.7	2.6
<b>Subproductos nitrogenados</b>				
Pasta de soya	89	48	5	3.4
Pasta de algodón	92	45	13.3	2.8
Pasta de coco	91	21	15.4	2.6
Harina de pescado	92	72	0.7	3.2
Harina de carne	94	55	2.8	2.6
Harina de sangre	91	80	1	2.4
Harina de pluma	91	89	3	2.4
Urea	99	280	----	----
<b>Subproductos de origen animal</b>				
Pollinaza	84	24	20	2.1
Gallinaza	88	28	12	1.7
Estiércol de bovino	28	11	38	1.4

MS: materia seca, PT: proteína total, EM (energía metabolizable)

Se puede mencionar que una de las mayores riquezas de las actividades agroindustriales es la proteína. Hablando específicamente de subproductos pecuarios, mientras más se acerque en la escala biológica una especie a otra, de mayor calidad será la proteína de la primera para la segunda. Sin embargo, por su carácter perecedero, muchos de los subproductos requieren de un proceso antes de ser usados y éste puede afectar la disponibilidad de sus aminoácidos y calidad de la proteína (Pérez *et al.*, 1975).

### **2.1.1 Subproductos de la industria cervecera**

Una industria que impacta por la cantidad de subproductos generados pero además por la calidad que pueden alcanzar los mismos, es la cervecera. Los subproductos más comunes provenientes de esta industria son la levadura (seca y húmeda) y granos de destilería (granos de cervecería, masilla o cebadilla de cerveza), los cuales están constituidos principalmente por cebada con mezclas de maíz y en algunos casos arroz (seco, húmedo o ensilado), aunque también puede obtenerse como subproductos raicilla y residuos secos propios de impurezas de la materia prima utilizada para la elaboración de la cerveza. Estos subproductos son en general muy palatables, ricos en proteína con una degradabilidad de media a baja (Satter y Whitlow, 1977) y son considerados, desde un punto de vista nutricional, como un ingrediente importante en raciones para vacas lecheras (INTA, 2002).

#### **2.1.1.1 Granos de cervecería**

Los granos de cervecería (masilla) representan uno de los subproductos más importantes de la industria cervecera. Se estima que por cada 100 lts de cerveza elaborada se producen en promedio 20 kg de este subproducto (Reinold, 1997).

### 2.2.1.1.1 Proceso de obtención

El proceso actual de producción de cerveza utiliza los carbohidratos solubles presentes en el grano de cebada, por lo que los materiales restantes (cascarilla) constituyen el residuo lignocelulósico generado por esta industria (Aguilar y Canilazes. 2005). En otras palabras, los granos de cervecería son el producto resultante después de la solubilización de los almidones. Por su alto grado de digestibilidad y por la función reguladora que explica su fermentación ruminal han sido utilizados como alimento para bovino de leche o carne (Stone, 1998).

El contenido de humedad en los residuos húmedos oscila entre 650-800 g/kg (Grasser *et al.*, 1995). Los residuos secos se pueden comercializar más fácilmente debido a su bajo contenido de humedad; sin embargo, la utilización de los residuos en forma húmeda se ha incrementado considerablemente, considerando que el secado de los residuos implica un manejo que incrementa los costos de producción. El contenido de proteína cruda es similar o un poco superior al de la harina de germen de maíz, pero el TND (valor de nutrientes digestibles totales) se presenta en menor cantidad para la masilla (Reinold, 1997). El contenido de proteínas de sobre paso se calcula como el 57% de la cantidad de proteína total (cuadro 2.3). El contenido de aminoácidos de los granos de cervecería según Álvarez y Valdivie, (1980) se presenta en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.3.- Contenido nutricional de la masilla o granos de cervecera (Álvarez y Valdivie, 1980).

	<b>% Base húmeda</b>	<b>% Base seca</b>
Humedad	76	
Proteína bruta	6.7	26
Fibra bruta	4.1	17.2
Cenizas	1	4.1
Grasa bruta	1.7	7.4
Proteína		13.78
Proteína degradable		12.22
Proteína soluble		1.17
Fibra neutro detergente		46
Carbohidratos no fibrosos		15

Cuadro 2.4.- Perfil de aminoácidos de granos de cervecera (Álvarez y Valdivie, 1980).

En base a proteína bruta total			
Lisina	0,85 %	Alanina	1,55 %
Istidina	0,74 %	Valina	1,30 %
Arginina	1,14 %	Metionina	0,52 %
Ac. Aspartico	1,72 %	Isoleucina	1,09 %
Treonina	0,96 %	Leucina	2,54 %
Serina	1,25 %	Tirosina	0,95 %
Ac. Glutamico	5,24 %	Fenilalanina	1,42 %
Prolina	2,57 %	Cistina	0,56 %
Glicina	0,95 %		

### **2.2.1.2.2 Uso de granos de cervecería en la alimentación del rumiante**

La proteína en este subproducto ha sido reportada como resistente a la degradación ruminal (Satter y Whitlow, 1997), con lo cual proporciona dos potenciales ventajas como fuente de proteína para rumiantes:

- **Eficiente uso de nitrógeno:** una combinación de una proteína de baja degradabilidad con urea, provee a los microorganismos del rumen suficiente nitrógeno para cubrir sus requerimientos y al mismo tiempo se minimiza la pérdida de nitrógeno como lo es la absorción de amonio en el rumen (Krause, 1973).
- **Proteína de sobrepaso (by-pass):** estos productos son una fuente importante de proteína poco degradable en el rumen, ya que el proceso de fermentación usado en la elaboración de cerveza, hace que la proteína sea menos soluble en el rumen y por lo tanto más disponible para el proceso digestivo y absorción en la parte baja del tracto digestivo (Krause, 1973).

La masilla es frecuentemente utilizada en la alimentación de rumiantes debido a que pueden proporcionar proteína, fibra y energía. El contenido de proteína de la masilla puede considerarse como una porción significativa de suplemento proteico, además aporta fibra con lo cual se aumenta el volumen de las dietas para rumiantes (Westendorf y Wohlt, 2002). Es un alimento relativamente voluminoso, poco concentrado, pero una buena fuente de energía y de proteína. En base seca este subproducto contiene en promedio de 220 a 280 g/kg de PC y 2.5 Mcal de EM (NRC 2001).

Aún cuando la calidad de la fibra de los granos de cervecería (desde el punto de vista de nutrición del rumiante) es más baja que la fibra de los forrajes,



en algunas ocasiones la masilla de cerveza es utilizada como fuente forrajera (Younker *et al.*, 1998). En esas situaciones se ha reportado que la masilla incrementa la ingestión de materia seca principalmente en vacas lecheras.

Satter y Whitlow (1997) señalan que los granos de cervecería pueden ser usados en la alimentación de ganado de carne (10-15 kg día) y terneros (2-4 kg día). Preston *et al.* (1973) reportan aumentos en la producción de leche cuando se utilizan niveles de 15-20% de la ración total. Por otra parte estos mismos autores señalan que el desarrollo del ganado de toretes de engorda y la calidad de la canal son muy aceptables cuando se utilizan entre 25 y 50% del total de la ración (cuadros 2.5 y 2.6).

Cuadro 2.5.- Influencia de la adición de granos de cervecería sobre las características de la pared ruminal e incidencia de abscesos en el hígado (Preston, 1973).

Variable	Nivel de granos de cervecería			
	0%	25%	25% <sup>a</sup>	50%
Color de papilas <sup>b</sup>	4.0	4.2	4.2	4.8
Aglutinamiento de papilas	2.7	5.0	4.9	5.0
Acumulación de vellosidades <sup>c</sup>	3.2	5.0	5.0	5.0
Abscesos en hígado	50	0	0	0

<sup>a</sup> 25% de granos de cerveza que contienen 5% de levadura

<sup>b</sup> 3 = gris; 4 = gris oscuro; 5 = negro; <sup>c</sup> 2 = moderado; 3 = medio; 4 = poco; 5 = nulo.

Cuadro 2.6.- Características de la canal en novillos alimentados a libre acceso y con raciones que contenían diferentes niveles de granos de cervecera (Preston, 1973).

Variable	Nivel de granos de cervecera			
	0%	25%	25% <sup>a</sup>	50%
Peso de la canal caliente ( kg)	272	259	302	310
Cobertura (%)	63.4	63.7	64.4	64.9
Grado de conformación	20.3	20.6	20.2	20.4
Marmoleo <sup>b</sup>	5.6	6.5	6.5	6.2
Grado final <sup>c</sup>	19.3	20.3	20.3	19.6
Grasa de cobertura	1.5	2.2	1.8	2.4
Grasa riñón-pelvis-corazón %	3.1	3.8	3.2	3.8
Área del ojo de la costilla	68.2	70.0	73.2	72.7
Nivel de suavidad	3.5	4.4	3.8	4.6

<sup>a</sup> 25% de granos de cerveza que contienen 5% de levadura; <sup>b</sup> 5 = poco; 6= modesto; 7= moderado; <sup>c</sup> 19 = choice (-); 20 = choice promedio; 21 choice (+).

Por su parte Aguilera *et al.*, (2007) mencionan que raciones con niveles elevados de masilla, no afecta el crecimiento, fermentación ruminal ni los parámetros digestivos de corderos de engorda, aunque el contenido de materia seca, FDN, FDA y EE tiene una gran variación cuando se aumentan los niveles de masilla en la dieta (cuadro 2.7, cuadro 2.8 y cuadro 2.9).

Cuadro 2.7.- Comportamiento productivo de de ovinos alimentados con diferentes niveles de granos de cervecería (forma húmeda) en la ración (Aguilera et al., 2007).

Variable	Dietas					SEM	P <
	Control	1	2	3	4		
Peso inicial, kg	16	16	16	16	16	2	1.0
Peso final, kg	40	41	41	40	39	3	0.2
Ganancia total, kg	26	25	25	26	23	1	0.1
Ganancia diaria de peso, g	180	192	195	185	178	37	0.4
Consumo de materia seca, g/d	1022	1040	1026	1021	1011	88	1.0
Eficiencia alimenticia <sup>2</sup>	5.27	5.4	5.3	5.5	5.7	1	0.2

En la dieta 1 los ovinos consumieron 150 g de granos húmedos de cervecería/kg MS; en la dieta 2300 g; en la dieta 3 3450g y en la dieta 4 600g. <sup>2</sup> Calculado como materia seca consumida/ganancia diaria de peso.

Cuadro 2.8.- Consumo de nutrientes y digestión de dietas en ovinos adicionadas con granos húmedos de cervecería (Aguilera et al., 2007).

Variable	Dietas					SEM	P <
	Control	1	2	3	4		
Consumo de materia seca g/d <sup>-1</sup>	1158	1226	1186	1190	1173	103	1.0
Consumo de proteína cruda g/d <sup>-1</sup>	204	215	207	209	206	19	0.2
Digestibilidad (%)							
Materia seca	68	70	68	72	68	3	1.0
Proteína cruda	71	71	70	72	69	3	0.4
FDN	66	69	66	67	62	5	0.2
FDA	67	66	68	66	65	3	0.4

En la dieta 1 los ovinos consumieron 150 g de granos húmedos de cervecería/kg MS; en la dieta 2300g; en la dieta 3 3450g y en la dieta 4 600g respectivamente.

Cuadro 2.9.- Parámetros ruminales de borregos alimentados con diferentes niveles de masilla (forma húmeda) en la ración (Aguilera *et al.*, 2007).

Variable	Dietas					SEM	P <
	Control	1	2	3	4		
pH	6.2	5.9	6.0	6.1	5.9	0.1	0.6
N amoniacal	10 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	13 <sup>ab</sup>	14 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	0.4	0.05
Ácidos grasos volátiles							
Agv's totales mM	154	156	160	161	161	5.0	1.0
Ac. acético mM	93	98	92	97	97	1.0	1.0
Ac. propiónico mM	39	38	43	43	42	1.0	1.0
Ac. butírico mM	18	17	22	18	18	0.4	0.4
Proporciones molares							
Ac. acético	61	63	57	61	61	1.0	1.0
Ac. propiónico	26	25	27	27	26	0.3	1.0
Ac. butírico	12	11	14	11	12	0.2	0.3
Relación ac:pr	2.4	2.6	2.1	2.3	2.3	0.2	0.4

En la dieta 1 los ovinos consumieron 150 g de granos húmedos de cervecería/kg MS; en la dieta 2 300g; en la dieta 3 3450g y en la dieta 4 600g respectivamente.

En otro estudio Preston *et al.* (1973) al evaluar la adición de diferentes niveles de masilla (forma seca) en novillos, reportaron ganancias de pesos significativos ( $P < 0.05$ ) en comparación con novillos que no recibieron en su alimentación dietas con inclusión de masilla. Por su parte Monje *et al.* (1992) reportan ganancias de peso aceptables para novillos de uno y dos años (1.25 y 1.91 kg/d respectivamente) cuando los animales fueron alimentados con 50 % de una mezcla de malta y granos de cervecería en la ración. Para este estudio se reportó un consumo promedio de 11.7 kg/d.

Crickenberger y Johnson (1982) al evaluar diferentes niveles (0, 33.8 y 62.2 %) de granos húmedos de cervecería (GHC) en combinación de ensilado de maíz en la dieta de novillas, reportan mayores ganancias de peso ( $P < 0.05$ ) en animales alimentados con niveles de 33.8 % de GHC es decir, 0.730 kg/d contra 0.530 y 0.500 kg/d para niveles de 62.2 y 0% de GHC respectivamente. En relación al consumo de materia seca estos autores reportan un decremento del 35% cuando los animales consumieron dietas con 62.2% de GHC en relación a los restantes tratamientos. En el mismo estudio se reporta mejor conversión alimenticia para el tratamiento control (9.52:1 para el T1, 6.34:1 para el T2 y 6.13:1 para el T3 ( $P < 0.05$ )). El punto clave en este estudio se centra en el hecho de que los granos húmedos de cervecería funcionan como fuente de proteína lo que genera mejor fermentación ruminal y por ende mejores ganancias de peso, sin embargo el alto contenido de humedad del subproducto limita la ingestión de materia seca y en consecuencia el rendimiento productivo se ve afectado con altos niveles de granos de cervecería en la ración.

Lara (1976) llevó a cabo un experimento utilizando 24 becerros de la raza Holstein, con edad promedio de 3 a 9 meses de edad y un peso promedio de 108.33 kg. Los mismos fueron alimentados durante 112 días (4 periodos de 28 días), con los siguientes tratamientos: T1: 15 kg de residuo de cervecería (masilla), 1kg de concentrado con 14% de proteína y forraje a libre acceso T2: 11.7 kg de residuo de cervecería, 1kg de concentrado con 14% de proteína y forraje a libre acceso T3: 8.3 kg de residuo de cervecería, 1kg de concentrado con 14% de proteína y forraje a libre acceso T4: 5.0 kg de residuo de cervecería (masilla), 1kg de concentrado con 14% de proteína y forraje a libre acceso. Durante la primera etapa se reportó una ganancia diaria de peso (GDP) de 0.39 kg para el T1, 0.315 kg para T2, 0.060 kg para T3, y 0.183 kg para T4. Lo que respecta a la segunda etapa obtuvo GDP para el T1: 0.799 kg, T2: 0.667 kg, T3: 0.671 kg, T4: 0.660 kg, los aumentos de los tratamientos 2, 3 y 4 son similares sobresaliendo el tratamiento 1 al igual que en la primera etapa. El tratamiento 3 que en la primera etapa reportó pérdidas en peso de los animales

durante esta etapa mostró un comportamiento similar a los tratamientos 2 y 4, el autor atribuye esto a los aumentos de peso compensatorio. En la tercera etapa reporta aumento de peso diarios para el T1: 0.580 kg, T2: 0.466 kg, T3: 0.207 kg, T4: 0.121 kg; comparando esta etapa con la segunda, se registró una disminución en la GDP debido a que hubo un cambio en la alimentación (forraje) aunado al mal tiempo que prevaleció en esos días. En la cuarta etapa se obtuvieron GDP para el T1: 0.928 kg, T2: 0.839 kg, T3: 0.883 kg, T4: 0.811 kg.

Garciarena *et al.* (1992), en un ensayo realizado para determinar el efecto de la suplementación con malta húmeda (masilla previo al proceso de fermentación) sobre el ambiente ruminal y la dinámica de digestión, alimentaron novillos con raciones de 0, 30 y 60% de malta húmeda complementada con heno picado durante tres periodos experimentales de 20 días cada uno. En dicho estudio se registró una leve aumento en el consumo con mayores niveles de malta húmeda ( $P < 0.05$ ).

Hofer *et al.* (1992), evaluaron el efecto de la malta húmeda en la dieta de terneros destetados precozmente en condiciones de confinamiento. Los tratamientos utilizados fueron T1: 50% de malta húmeda. 30% de salvado de arroz y 20% de grano de sorgo; y T2: 50% de malta húmeda. 20% de salvado de arroz. 20% de grano de sorgo y 10% de heno de moha (*Setaria itálica*). Los valores de ganancia de peso no difirieron entre tratamientos ( $P = 0.273$ ). En términos productivos, ambas raciones posibilitaron lograr sostenidos incrementos de peso, exhibiendo además favorables relaciones de eficiencia. Al respecto, los registros promedios de consumo voluntario fueron similares en ambos tratamientos (datos grupales, no analizados estadísticamente), del orden del 4,2 kg MS/animal/día, resultando relaciones de conversión de 5.47:1 y 4.74:1 para T1 y T2, respectivamente.

### **2.1.1.2 Levadura de cerveza**

La levadura constituye otro de los importantes subproductos de la industria cervecera, la cual puede ser usada como fuente alternativa de energía y proteína en animales domésticos. Este producto es rico en proteínas y contiene considerables cantidades de macro y micro minerales (Miazzo y Kraft, 1998). La levadura es un producto obtenido de la fermentación anaerobia de la cerveza formado entre otros ingredientes, por hongos tipo *Sacharomices cerevisiae*.

#### **2.1.1.2.1 Propiedades nutricionales de la levadura previo al proceso de elaboración de cerveza**

La producción de levadura requiere además de condiciones ambientales óptimas, una variedad de nutrientes esenciales y vitaminas. Los nutrientes existentes en los medios de cultivo proporcionan a la célula microbiana todos los ingredientes requeridos para producir más células semejantes a la misma (Ramírez y Pedroza, 2001). Entre los nutrientes y minerales necesarios están el nitrógeno, potasio, fosfato, magnesio, y calcio; y trazas de hierro, zinc, cobre, manganeso, y molibdeno. Normalmente, el nitrógeno es suministrado mediante sales de amonio, el fosfato y el magnesio en las formas de ácido fosfórico y sales de magnesio. Sin embargo, además de minerales un requerimiento esencial está constituido por las vitaminas del grupo B como biotina, ácido pantoténico, inositol, tiamina, pyridoxina y niacina. Aún así existen diferencias entre las distintas cepas. Entre las vitaminas mencionadas la biotina es requerida prácticamente por todas las cepas. Los requerimientos cambian según las condiciones de cultivo, ya que el aumento en el requerimiento de oxígeno disminuye los requerimientos de esa vitamina y el uso de urea como fuente de nitrógeno los aumenta por la necesidad de biosíntesis de 3 sistemas enzimáticos que contienen biotina. Se ha estimado que los requerimientos de la biotina son de 100 ug de biotina por 100 g de azúcar suministrados para el crecimiento de la levadura (Drew y Wang, 1985). De forma general las

vitaminas utilizadas en la producción de levadura son la biotina, inositol, ácido pantoténico y tiamina mismas que pueden ser aportadas como ya se mencionó cuando se adiciona levadura en la alimentación del rumiante

#### **2.1.1.2.2 Levadura en la alimentación del rumiante**

Puede ser utilizada como aditivo en la alimentación animal (Cruickshank, 2002, y NRC 1994). Su importancia se basa en que aporta un 40% de proteína bruta con excelente valor biológico, un alto contenido de aminoácidos como lisina; vitaminas, principalmente del grupo B, inclusive tienen bajo contenido de ácido nucleico y ninguna sustancia tóxica ni alergénica si se maneja en adecuadas condiciones ambientales (Stone, 1998).

Tradicionalmente la levadura ha sido utilizada en base seca, sin embargo este proceso produce alteraciones nutricionales del producto como lo es la reducción de energía (Besong *et al.*, 1996). Estudios previos con levadura en forma líquida indican este subproducto aumentan el consumo y la producción de vacas lecheras (Steckley *et al.*, 1979). Grieve (1979) reporta que el uso de la levadura presentó rendimientos similares al uso de pasta de soya en vacas lecheras.

Además se ha observado que mejora la digestibilidad (>85%) y absorción de los nutrientes e inhibe la colonización de bacterias patógenas (Perdomo *et al* 2004). El valor nutritivo de la levadura varía dependiendo del sustrato utilizado para su crecimiento y, también del proceso industrial al cual es sometida. Aún así, el cuadro 2.10 presenta características químicas promedio de la levadura según Alvarez y Valdivie (1980).



Cuadro 2.10.- Características químicas y nutritivas de la levadura (Álvarez y Valdivie, 1980)

En base a materia seca	
Materia Seca	15 %
Energía Bruta	4.623 Kcal/Kg.
Energía Digestible	3.795 Kcal/Kg.
Energía Metabolizable	3.392 Kcal/Kg
Grasa Bruta	1.90 %
Fibra Bruta	3.00 %
Azúcares	7.40 %
Proteína Bruta	47.00 %
Lisina	3.60 %
Metionia	0.75 %
Triptófano	0.59 %
Treonina	2.37 %
Calcio	0.15 %
Fósforo Total	1.50 %
Fósforo Disponible	0.97 %
Proteína Degradable	24.44 %
Proteína By Pass	22.56 %
Fibra Neutro Detergente	7 %
Carbohidratos no fibrosos.	42 %

La principal limitante del uso de la levadura líquida en vacas lactantes se debe al alto contenido de humedad que presenta la misma. NRC (1989) recomienda que el contenido de materia seca de la dieta de vacas lactantes debe ser mayor al 50% por lo que la adición de levadura líquida se ve limitada a bajos niveles. Barton *et al.*, (1996) concluye que la levadura en base seca puede sustituir a la linaza en iguales proporciones en la dieta de vacas lecheras.

Besong *et al.*, (1996) mencionan que la levadura puede utilizarse hasta en un 20% (en base tal como ofrecida) en la ración de vacas lecheras. De igual forma indica que la suplementación con niveles mayores al 40% disminuye el consumo de MS. En contraste con otros trabajos este mismo autor menciona que no existe una relación significativa entre el uso de la levadura en la ración y la producción de leche, y que la inclusión de levadura no perjudica las características organolépticas de la leche (cuadro 2.11).

Cuadro 2.11.- Nivel de aceptación de leche de vacas alimentadas con diferentes niveles de levadura en la ración (Besong *et al.*, 1996).

Condiciones de la prueba	0%	20%	40%	SE
Leche cruda	1.26a	0.79b	0.88b	0.14
Light	1.51	0.98	1.12	0.19
Leche con chocolate	1.00	0.63	0.63	0.20

a,b Literales diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos ( $P < 0.05$ ). La puntuación de aceptabilidad fue medida en una escala de 1 = aceptable a 5 = sabor indeseable.

Por su parte Hatch *et al.* (1972); estudiaron el efecto del uso de granos de destilería, maíz y granos desecados de cervecería con levadura en raciones que contenían urea, en el comportamiento productivo de novillos de la raza Hereford. Determinaron que la inclusión en un 5% de granos de destilería en combinación con niveles menores del 10% de levadura resulta en un aumento significativo en la retención de nitrógeno ( $P < 0.05$ ). Los mismos autores reportaron una disminución de amoníaco en el rumen ( $P < 0.10$ ) y en las concentraciones de urea plasmática ( $P < 0.05$ ). Estos resultados apuntan a un aumento de utilización de urea y la conversión de ella en proteína por los animales.

En cuanto a perfil ruminal se refiere, Besong *et al.*, (1996) concluyen que el uso de la levadura está asociado con un decremento en la producción de acetato, y un decremento en la relación acetato:propionato (cuadro 2.12).

Cuadro 2.12.- Concentración ruminal de ácidos grasos volátiles (porcentajes molares) y pH de líquido ruminal de vacas alimentadas con diferentes niveles de levadura en la ración (Besong *et al.*, 1996).

Variable	0 %	20 %	40 %	SE	P	
					L	Q
pH ruminal	6.23	6.14	6.13	0.06	NS <sup>3</sup>	NS
Agv's, mol/100 mol						
Acetato	65.38	64.09	61.33	10.8	0.06	NS
Propionato	18.16	19.21	21.36	0.68	0.03	NS
Isobutirato	1.67	1.68	1.62	0.66	NS	NS
Butirato	11.87	11.80	12.69	0.53	NS	NS
Isovalerato	1.12	1.24	0.92	0.07	NS	0.07
Valerato	1.83	1.99	2.09	0.12	NS	NS
Agv's, mmol/L						
Totales	117.7	124.0	125.8	9.7	NS	NS
A:P	3.62	3.34	2.93	0.13	0.02	NS

<sup>1</sup> Porcentaje del total de la ración (tal como se ofrece)

<sup>2</sup> L = efecto lineal, Q = efecto cuadrática

<sup>3</sup> P > 0.10

En otros estudios Clark *et al.* (1976) estudiaron la inclusión de levadura y granos húmedos de cervecería (GHC) en dietas integrales (con 60% de forraje y 6% de pollinaza) y reportaron que el uso de 30 % de granos de cervecería y 6 % de crema de levadura permite ganancias de peso de 700 a 850 gramos por día. Los mismos autores señalan que el valor nutritivo del GHC disminuye a medida que los novillos alcanzan el peso al mercado, debido a la falta de energía en la dieta. La adición en su caso de melaza o sorgo debe hacerse durante la última fase de la engorda, disminuyendo el forraje y cuando los animales tienen un peso de 390 a 410 kg. Con la adición de melaza pueden esperarse ganancias diarias de peso de 1.0 a 1.15 kg y con la adición de sorgo hasta de 1.3 kg.

## 2.1.2 Procesado de subproductos en la alimentación del rumiante

Diferentes tratamientos se aplican a los subproductos y granos de cereales utilizados en la alimentación animal (cuadro 2.13) 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 González, 2003).

Cuadro 2.13.- Principales métodos de procesado de los granos de cereales (Guada, 1993).

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

El procesado de los subproductos puede influir sobre el proceso digestivo en rumiantes ya que puede mejorar la digestibilidad de la materia seca del grano y del almidón (Brenttheurer, 1986), incrementar la tasa de pasaje de la ingesta a lo largo del tracto digestivo (Galyean *et al.*, 1976; Huck *et al.*, 1998; Brown *et al.*, 2000), facilitar el adecuado mezclado del ingrediente con los restantes componentes de la dieta o ración (Egaña, 2000) y mejorar el aprovechamiento en particular de granos pequeños o duros (Perry, 1976; Ewing *et al.*, 1986; Philippeau *et al.*, 1999). Las formas de procesado son diversas y tienen resultados diferentes según se trate de granos secos o húmedos. El

procesado de granos representa entonces una herramienta clave en los avances técnicos en el campo de la nutrición animal.

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).

Debido al enfoque estructural de la presente investigación solo serán discutidos en el presente apartado los factores asociados solamente con el proceso de peletizado y sus posibles efectos sobre el metabolismo ruminal y por ende sobre la respuesta animal.

#### **2.1.2.1 Peletizado y extrusión de materiales**

Dentro de la amplia gama de procesos aplicables a los alimentos destinados a la nutrición animal, el peletizado o alimento comprimido representa una buena alternativa ya que su aplicación 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).

Pellet o pelet es una denominación genérica, no española, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. El término alude a diferentes materiales dentro de las que se incluye la formación de productos destinados a la alimentación animal. Behnke (2001) define el pelet como unidades largas y densas comprimidas mediante un proceso mecánico combinado con la humedad, calor y presión. Por su parte el proceso de extrusión es utilizado comúnmente como sinónimo del proceso de peletizado. Beltrán y Marcilla (2001) definen extrusión como cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal definida y constante.

### 2.1.2.2 Proceso de peletizado

En realidad, el principio operativo del proceso de extrusión se aplica en el proceso de peletizado con algunas variantes en las actividades de soporte, principalmente debido a que el término de extrusión se utiliza de forma más amplia en el área de ingeniería para procesar metales y plásticos previamente fundidos, es decir, con materiales totalmente diferentes a los utilizados en la alimentación animal. Por lo anterior el proceso de producción de alimento en pelets puede ser descrito como una operación de moldeo de tipo extrusión.

El proceso de formación de pelet radica en esencia en la fuerza motriz aplicada en el punto de contacto entre un rodillo y un dado (figura 2.1), cualquier otra actividad asociada a la operación tales como mezclado homogenizado, acondicionamiento, enfriamiento, etcétera, vienen a suponer “actividades de soporte” que en su conjunto, impactan sobre la estructura y por ende sobre la calidad final del producto peletizado.

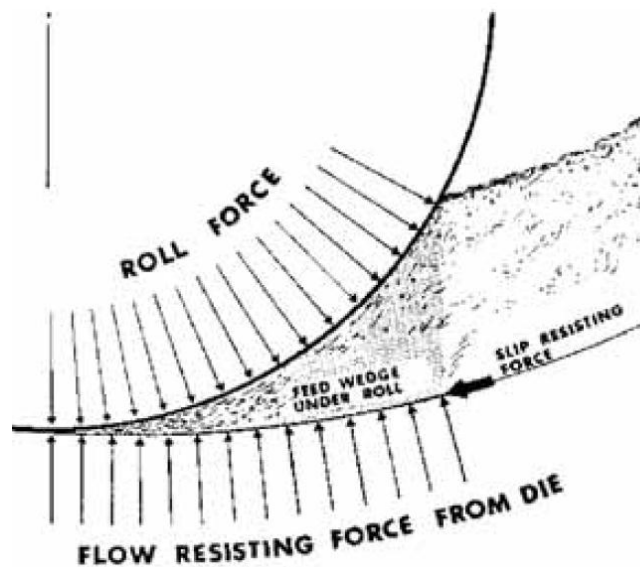


Figura 2.1.- Punto esencial del proceso de peletizado: presión generada entre el rodillo y el dado sobre la masa de alimento para generar una mayor densidad en la materia (Bhenke, 2006).

En este proceso el ingrediente a peletizar puede o no ser acondicionado a altas temperatura en un depósito de reacción antes de la peletización pero como ya se mencionó la parte esencial del proceso se caracteriza por la compresión del material por medio del efecto de un elemento transportador, de tal modo que en el extremo de salida del depósito de reacción se produce una presión de trabajo que actúa sobre el material o la mezcla de material, hasta quedar con una presión de distensión reducida (McKinney y Teeter, 2004).

Dependiendo de las características físicas del alimento una menor o mayor proporción de energía será utilizada para la compresión de los materiales. Por ejemplo si la fórmula contiene altos niveles de ingredientes fibrosos como alfalfa, salvado de trigo o masilla de cerveza el proceso consumirá una mayor cantidad de energía simplemente debido a un mayor diferencial de densidades entre el ingrediente original y el demandado por el producto final peletizado, diferencial que se reduce cuando se utilizan ingredientes naturalmente más densos como granos de cereales y algunas fuentes proteicas como la pasta de soya o la harinolina.

Los pelets son formados generalmente con diámetros de 10/64" a 48/64". Una pequeña parte de la producción de pelets puede ser producido en otras formas las cuales pueden ser triangulares, cuadrados u ovalados, y en algunos casos puede llegar a exceder los diámetros anteriores (McKinney y Teeter, 2004).

El área de extrusión representa el punto en el cual la masa ha alcanzado una densidad propia para la obtención del producto peletizado y fluye a través de los orificios del dado. Existen diversas fuerzas físicas que deben tomarse en cuenta en el proceso de peletizado. La función principal del rodillo es la aplicación de una fuerza sobre la masa para aumentar la densidad del alimento y causar el flujo del mismo a través de los orificios del dado. Es en esta sección donde se generan los diferenciales en la energía requerida para el peletizado

de alimentos fibrosos o de concentrados (figura 2.2 y 2.3). El elevado volumen propio de los ingredientes fibrosos implica un mayor número de revoluciones lo que aumenta el consumo de energía además de que disminuye la producción por hora.

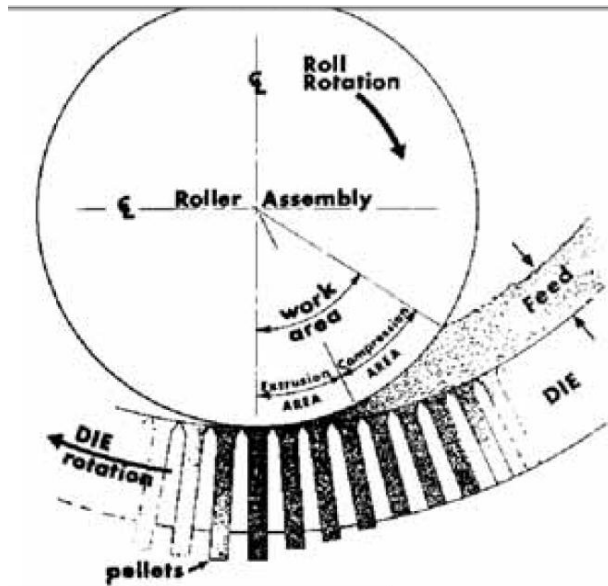


Figura 2.2.- Relación de fuerzas y área de trabajo en el proceso de peletizado de alimentos (Bhenke, 2006).



Figura 2.3.- El punto de contacto entre el dado y el rodillo (a), las características de la superficie del rodillo: corrugado o dentado (b) y las propiedades físicas de la masa a peletizar (c) determinan en conjunto la cantidad de fuerza requerida para lograr el proceso de extrusión.



### **.1.2.3 Concepto de calidad en el proceso de peletizado**

Para cuestiones prácticas y excluyendo el aspecto nutricional, el concepto de “calidad” en el “proceso” de peletizado radica por un lado en la eficiencia en el uso de la energía requerida y en la resistencia al manejo del producto final, es decir una buena estabilidad física basada en un bajo nivel de quebrantamiento y reducida generación de micro-partículas propias del pelet con un gasto reducido de energía. Existen diversos factores que pueden afectar dicha calidad, entre los principales se pueden mencionar: a) ingredientes que toman parte en la formulación, b) tamaño de partícula, c) acondicionamiento de la masa alimenticia, d) tasa de producción, e) velocidad del rodillo, f) especificaciones del dado (diseño), g) nivel de aglutinante y h) nivel de humedad.

#### **2.1.2.3.1 Formulación**

Existen ingredientes alimenticios que pueden ser aptos para peletizar y otros no, o bien, existen materiales que pueden ser incluidos solamente en niveles bajos en el proceso de peletizado. MacBain (1966) clasificó diversos ingredientes en base a su nivel de abrasividad factor que de alguna manera se correlaciona positivamente con la calidad de dicho ingrediente una vez peletizado.

En los inicios del estudio de estabilidad de los alimentos Bartikoski (1962) elaboró una clasificación donde asignaba un valor numérico a cada ingrediente para indicar su capacidad de adhesión o habilidad de los ingredientes para formar aglomerados o alimentos de consistencia regular. Este autor relacionó el “factor de estabilidad” de cada alimento con sus propiedades nutricionales para elaborar alimentos estables al menor costo. De alguna manera esas clasificaciones sentaron las bases para el desarrollo de productos peletizados muchas de ellos no convencionales utilizados en la actualidad. ASAE (2003)

proponen un método para clasificar la estabilidad de los alimentos en relación al peletizado basado en la cuantificación de ciertos parámetros como dureza del pelet o de su habilidad para resistir el manejo al que son sometidos los ingredientes en la industria de alimentos (mezclado, empaque, embalaje, etc.). En este contexto las propiedades nutricionales juegan un papel muy importante en las características y propiedades del pelet (cuadro 2.14 y cuadro 2.15).

Cuadro 2.14.- Ingredientes y sus respectivas propiedades nutricionales y aptitudes para el peletizado (adaptado de Thomas *et al.*, 1997).

Ingrediente	Constituyentes <sup>a</sup>				Factores físicos <sup>b</sup>			
	Proteín a cruda (g/kg)	Grasa cruda (g/kg)	Fibra cruda (g/kg)	Almidón (g/kg)	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Calidad del pelet	Capacidad de compresión	Capacidad de extrusión
<i>Subproductos molidos</i>								
Harina de cebada	107	22	47	490	480	5	6	5
Harina de maíz	87	38	21	585	610	5	7	6
Harina de millo	90	28	40	580	540	4	6	7
Harina de avena	112	48	106	378	520	2	3	7
Arroz	78	20	88	580	480	5	5	4
Salvado	119	17	23	555	540	8	6	3
<i>Semillas de oleaginosas</i>								
Extracto de harina de coco	436	30	118	8	610	8	6	7
Harina de cacahuete	503	5	125	20	670	8	6	5
Pasta de soya	449	18	53	8	500	4	5	4
Granos de soya	356	189	53	9	480	4	8	3
Pasta de semilla de girasol	383	71	167	35	560	6	6	4
<i>Subproductos pecuarios</i>								
Harina de sangre	878	7	-	-	560	3	5	3
Grasa (agregada y mezclada)	0	1000	-	-	900	<10	>10	-
Harina de plumas	824	76	-	-	400	4	5	5
Harina de pescado	564	116	-	-	640	4	7	5
Harina de carne	569	100	22	-	620	5	7	3
Harina de c. y hueso	498	91	16	-	690	4	7	4
Desechos de pollos de engorda	711	133	27	-	590	3	8	4
<i>Legumbres</i>								
Habas	254	13	73	376	690	7	5	5
Chicharos	206	11	55	410	720	6	5	5
Lentejas	229	13	45	422	800	4	4	5
Algarrobas	40	0	71	-	400	4	4	6
<i>Otros</i>								
Granos de cervecería secos	252	67	126	24	320	3	4	5
Pulpa de cítricos	61	22	118	13	330	7	3	6
Harina de germen de maíz	142	53	69	339	480	5	8	3
Gluten de maíz	607	37	11	156	480	4	5	5
Minerales	-	-	-	-	1000	2	4	10
Melaza	110	-	-	-	1230	7	6	0
Salvado de arroz	129	130	110	200	320	2	3	6
Leche desnatada en polvo	349	23	-	-	640	9	2	9
Pulpa de remolacha					240	7	3	5

<sup>a</sup> Tomados de Dutch CVB (1994). <sup>b</sup> En escala de 0 (pobre contribución) a 10 (alta contribución) basada en la experiencia de operadores.

Cuadro 2.15.- Efecto de los ingredientes sobre el consumo de energía en el proceso de peletizado y durabilidad del pelet (Thomas *et al.*, 1997).

Ingrediente	Consumo de potencia (kWh/Ton)	Durabilidad (%)
Pulpa de remolacha seca	6.0	98.3
Malta de cebada	4.2	98.3
Pulpa de citricos	4.9	97.6
Cebada molida	7.3	97.6
Harina de coco	7.1	97.4
Harina de alfalfa	6.8	97.2
Pasto seco	7.6	97.2
Salvado de trigo	6.9	96.9
Harina de semilla de girasol	7.09	--
Pasta de soya	5.6	94.5
Semilla de canola	5.8	91.2

#### 2.1.2.3.2. Tamaño de partícula

A través de los años el encontrar un tamaño óptimo de partícula en el alimento a peletizar ha generado controversia. Martin (1984) comparó la eficiencia y durabilidad del peletizado utilizando maíz procesado con un molino de martillos a un tamaño de partícula de 3.2 mm equivalente a 595:876 micrones contra maíz procesado con molino de martillos a un tamaño de partícula de 916 micrones a 1460 micrones, sin embargo dicho autor no reportó diferencia significativa entre ambos tratamientos.

Por su parte Stevens (1987) al trabajar con tres tamaños de criba: 1/16" (1.6 mm) (partícula fina); 1/8" (3.2mm) (partícula media) y 1/4" (6.4mm) (partícula gruesa) con maíz molido no observó diferencia significativa sobre la tasa de producción de alimento peletizado, aunque la energía eléctrica

requerida para moler el maíz y peletizar los alimentos fue ligeramente mayor cuando se trabajó con partícula de menor tamaño.

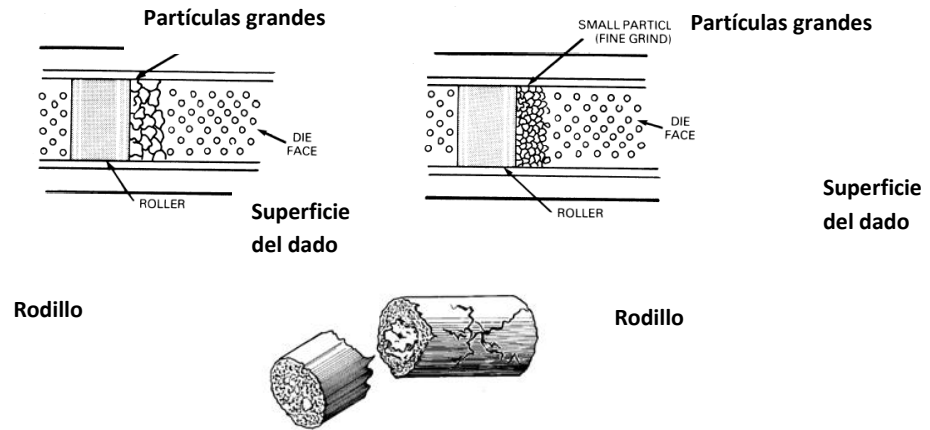


Figura 2.4.- Representación del tamaño de partícula y la fuerza aplicada para su flujo a través de los orificios del dado y fracturas causadas en el pelet por uso de partículas de tamaño grande (California pellet mil Company).

Utilizar ingredientes con un tamaño de partícula muy reducida puede mejorar ciertos parámetros físicos del pelet tales como una mayor densidad y durabilidad (figura 2.5), sin embargo lo anterior puede llegar a ser contraproducente debido a que puede reducir la tasa de producción y aumentar los costos por concepto de energía requerida en el proceso de elaboración (figura 2.5)

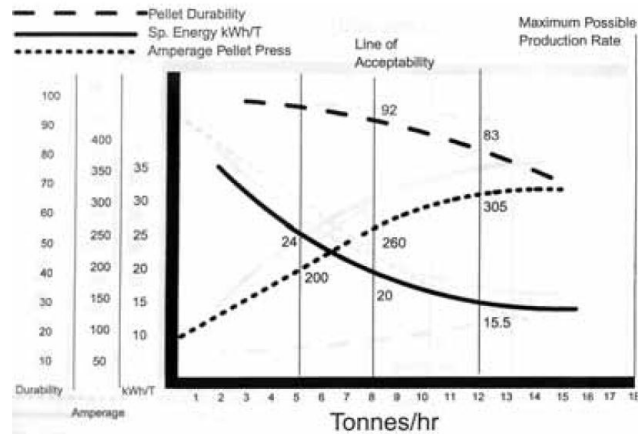


Figura 2.5.- Relación entre calidad del pelet, energía requerida y tasa de producción en el proceso de peletizado (Bhenke, 2006).

### 2.1.2.3.3 Acondicionamiento de la masa alimenticia

Un elemento que se considera característico del proceso de peletizado es el acondicionamiento previo de la mezcla alimenticia mediante la aplicación de calor en forma de vapor. Según Bhenke (1990) el calor permite la lubricación de la superficie del pelet a partir de los aceites naturales encontrados comúnmente en los granos a peletizar además puede reducir el gasto de los rodillos y el dado debido a la misma lubricación con lo que se puede reflejar un aumento en la tasa de producción.

En algunos casos, cuando el acondicionamiento de la masa alimenticia es total, se puede ocasionar efectos negativos sobre la durabilidad del pelet. Bhenke (2006) señala que si el material después del acondicionamiento se desliza a través del dado muy rápidamente causará la producción de un pelet menos durable y la gelatinización causada por el calor y la fricción entre el dado y el rodillo puede ser reducida (figura 2.6).

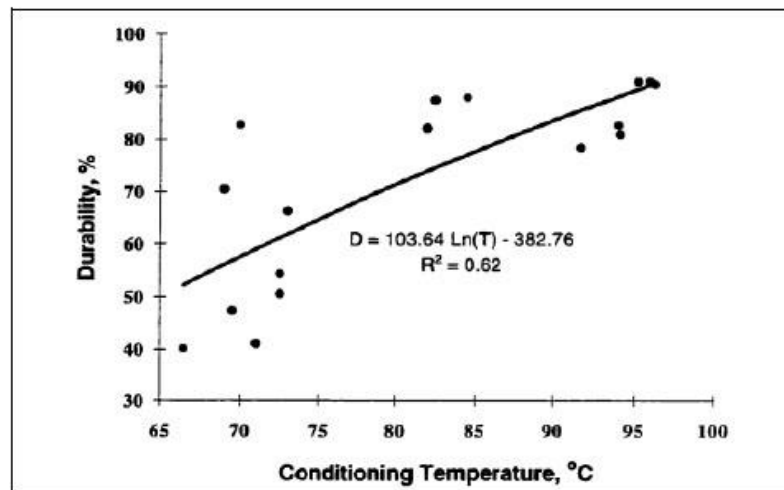


Figura 2.6.- Efecto de la temperatura del acondicionamiento sobre la durabilidad del pelet de alfalfa (Behnke, 2006).

Stevens (1987) condujo extensos experimentos para estudiar el fenómeno de gelatinización en el proceso de peletizado de granos de maíz molturados en un tamaño de criba de 1/8". Dicho autor utilizó un calorímetro con

escaneo diferencial (Perkin-Elmer DSC-23) para el análisis de la gelatinización, los resultados se muestran en el cuadro 2.16.

Cuadro 2.16.- Efecto del acondicionamiento y temperaturas aplicadas en el proceso de peletizado sobre la gelatinización del almidón (Behnke, 2006).

Producto	Temperatura				Gelatinización %
	Acondicionamiento		Pelet		
	°C	°F	°C	°F	
Pelet completo	23	73	69	156	41.9
Pelet completo	43	109	76	169	37.1
Pelet completo	63	145	82	180	33.5
Pelet completo	80	176	84	183	28.0
Cubierta del pelet	23	73	69	156	58.3
Cubierta del pelet	80	176	84	183	25.9

En el estudio anterior se observó una relación negativa entre la temperatura de acondicionamiento de la harina y el grado de gelatinización. El alto grado de gelatinización que ocurrió en la cubierta del pelet a una temperatura de 23°C indica que el calor mecánico generado sobre la superficie del dado causa un importante nivel de gelatinización de los almidones a cualquier temperatura de acondicionamiento de la mezcla de alimento pero especialmente cuando existen altos diferenciales de temperatura entre el acondicionamiento de la mezcla y el pelet, es decir cuando el diferencial de temperatura entre el acondicionamiento y el producto final decrece también se reduce el grado de gelatinización de los alimentos. El autor sugiere en su experimento que una temperatura de 80° C en el acondicionamiento de la masa alimenticia es adecuada para una mayor gelatinización del almidón del maíz, sin embargo el tiempo de acondicionamiento es muy importante ya que alargar el tiempo para el acondicionamiento puede impactar negativamente los niveles de gelatinización.

#### **2.1.2.3.4 Especificaciones del dado**

Bhenke (1990) señala que la durabilidad del pelet fue significativamente mejorada con el uso de dados más gruesos sin embargo asevera que la tasa de producción puede ser significativamente reducida.

#### **2.1.2.3.5 Consistencia y calidad del producto final en el proceso de peletizado**

Uno de los criterios básicos para evaluar la calidad del pelet es la durabilidad del producto mismo, en otras palabras, se busca que el pelet mantenga su forma original durante el transporte, almacenamiento, mezclado y servicio a los animales (Obidziński, 2007) pero que al mismo tiempo mantenga ciertos estándares de alimentación animal (Hejft, 2002), es decir, que tampoco sea altamente resistente en el grado que cause problemas digestivos en el animal (mayor resistencia a la masticación o baja degradabilidad ruminal).

El conocimiento de la durabilidad del pelet (dureza, cinética de durabilidad, resistencia a la descarga, resistencia al corte etc.) frecuentemente conocido como PDI (índice de durabilidad del pelet, por sus siglas en ingles) es particularmente útil aunque con frecuencia es subestimada por los productores de pelet. De acuerdo a numerosos estudios (Thomas *et al.*, 1997, 1998; Walczynski, 2004) una buena calidad del pelet incrementa la eficiencia alimenticia de los animales mientras que pelets de baja calidad pueden impactar negativamente el rendimiento productivo de los animales (Obidziński, 2007). Sin embargo, obtener pelets de buena calidad es hasta cierto grado difícil dado que la producción de pelets como ya se mencionó es afectada por diversos factores (composición de la mezcla, tamaño de partícula, homogeneidad de la mezcla, contenido de grasa, sistema de peletizado, etc.) (Walczynski, 2004; Tomas *et al.*, 1998; McKinney y Teeter, 2004; Bhenke, 2006)



Cuando se selecciona la composición de una mezcla se debe considerar no solamente el contenido nutricional sino además las propiedades que puede aportar cada ingrediente en el proceso de peletizado. La investigación de Walczynski (2000) indica que la calidad de material granulado puede ser considerado como satisfactorio cuando su cinética de durabilidad alcanza valores superiores al 80% mientras que productos peletizados con una durabilidad superior al 90% se consideran de alta calidad.

### **2.1.3 Efecto del procesado del alimento en el metabolismo del rumiante**

La mayor parte de los tratamientos a que son sometidos los concentrados y subproductos 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.

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

Nutricionalmente, el peletizado del alimento posibilita un aumento natural de la energía 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), otros puntos positivos que se le atribuyen al proceso es reducir el desperdicio y selección de alimento por parte del animal, muerte de microorganismos patógenos que impactan sobre la respuesta productiva (Behnke, 2006) además de que el alimento peletizado se asocia con productos de mayor estabilidad y mejores características físicas que hacen del alimento un producto más fácil de manejar (Guerrero, 2009).

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).

#### **2.1.3.1.1 Regulación de 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).

#### **2.1.3.1.2 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 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 estructurales e incrementar su fragilidad (Murphy y Nicoletti, 1984), aumentando la eficacia de la rumiación en la conminución de las partículas. En este sentido, el proceso de peletizado puede impactar en cada uno de los anteriores factores.

#### **2.1.3.1.3 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. 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).

#### **2.1.3.1.4 Composición del contenido ruminal**

Otro factor importante relacionado al la inclusión de pelets en la alimentación del rumiante tiene que ver con el efecto que causa el pelet sobre la homogeneidad del contenido ruminal. 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.

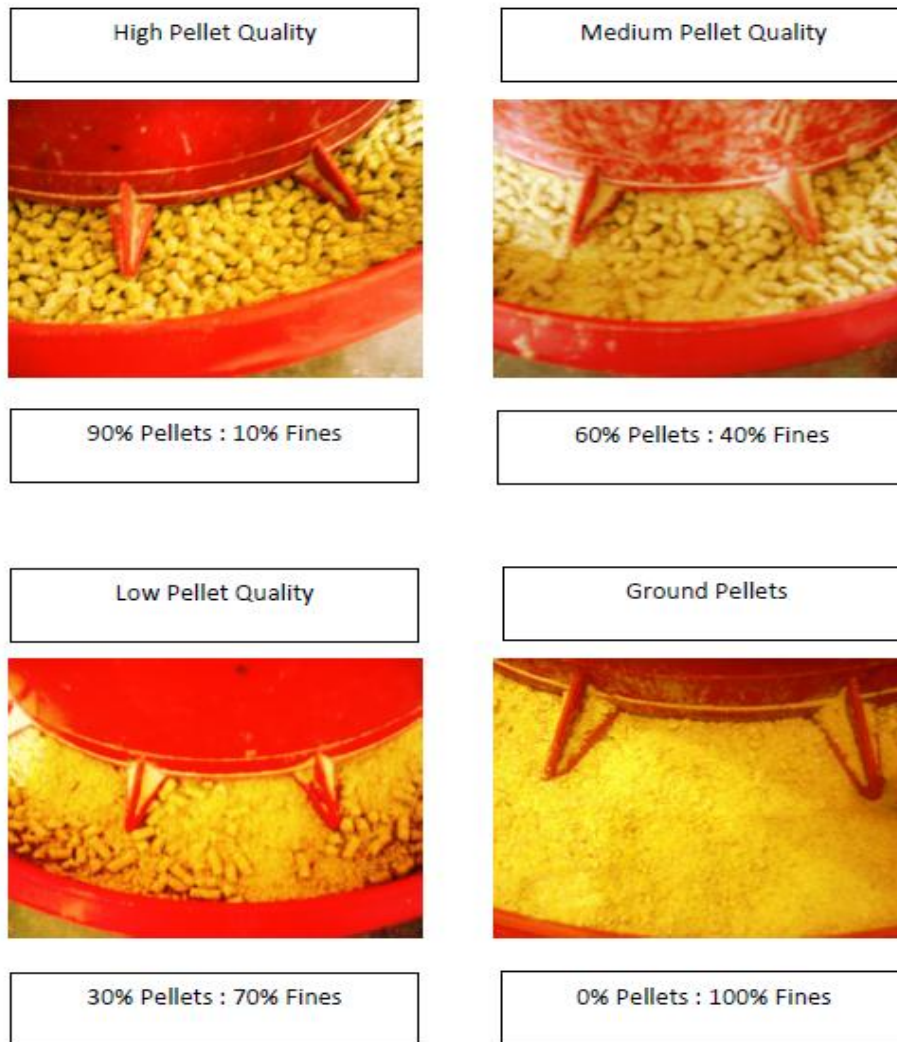


Figura 2.7.- Cuatro variaciones en la presentación del alimento peletizado (Moritz, 2007). El porcentaje de micropartículas (“fines” en inglés) está relacionado negativamente con la calidad propia del pelet, y además puede influir sobre la retención de partículas y por ende sobre la digestibilidad del alimento en el tracto digestivo de rumiantes.

#### 2.1.3.1.5 Tasa de renovación ruminal (*turnover*)

El volumen del rumen, la tasa de fermentación, la tasa de renovación ruminal o *turnover* y el tiempo de digestión impactan significativamente la eficiencia de utilización del alimento (Kamande. 2006). Para lograr una alta

degradación de los alimentos (y especialmente en alimentos fibrosos) se requieren largos períodos de retención ruminal, esto se asocia a bajo turnover y gran llenado del rumen.

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).

### **2.1.3.2 Pelets elaborados a base de subproductos en alimentación de rumiantes**

Basado en el hecho de que cada ingrediente en particular puede aportar características específicas al pelet y que las propiedades fisicoquímicas del mismo ingrediente pueden ser modificadas después del peletizado, con frecuencia se realizan estudios para evaluar el efecto que puede tener la inclusión de algún subproducto en un alimento peletizado sobre la respuesta animal o bien sobre las propiedades intrínsecas del pelet. Jackson *et al.*, (2006) en un estudio con cabras con el fin de determinar si pelets elaborados a base de cama de pollo podrían ser usados como fuente de proteína para cabras en crecimiento utilizaron diferentes niveles de este subproducto. Los tratamientos se basaron en diferentes niveles de inclusión en la dieta del producto peletizado: T1: 0%, T2: 20% y T3:40% (cuadro 2.17). En un segundo ensayo estos mismos autores determinaron la digestibilidad in vivo en 10 machos cabríos. Los autores reportaron que la ganancia diaria de peso ( $79 \pm 8$  g) y la

eficiencia alimenticia ( $130 \pm 12$  g/kg) no fue afectada por la inclusión del producto peletizado. De la misma manera la digestibilidad de la materia orgánica y de la proteína cruda ( $63 \pm 2$  y  $75 \pm 7$  %) fueron similares entre las dietas experimentales. Por su parte la digestibilidad de la materia seca fue mayor ( $P < 0.05$ ) para el tratamiento testigo ( $82 \% \pm 1$ ) cuando se comparó con el tratamiento que incluía 40% del producto peletizado ( $75\% \pm 1$ ). La digestibilidad de FDA ( $41 \pm 4\%$  para el T1 y  $67 \pm 4\%$  para el T3) y FDN ( $48 \pm 4\%$  para T1 y  $71 \pm 4\%$  para T3) fueron mayores ( $P < 0.01$ ) cuando se comparó el T3 con el tratamiento testigo o T1. En base a lo anterior estos autores señalan que los pelets elaborados a base de cama de pollo pueden ser utilizados efectivamente como ingrediente de mediana y baja inclusión en la dieta de cabras productoras de carne.

Cuadro 2.17.- Dietas utilizadas con el objetivo de evaluar el efecto de la adición de cama de pollo peletizada sobre el comportamiento productivo y digestibilidad del alimento en cabras productoras de carne (Jackson *et al.*, 2006).

Ingrediente	Tratamientos		
	1	2	3
Pelet (cama de pollo)	0	20	40
Maíz	61.25	53.50	35.00
Pelet de alfalfa	23.40	23.25	23.50
Pasta de soya	13.45	1.00	0
Mezcla mineral	0.50	0.50	0.50
Cloruro de amonio	1.00	1.00	1.00
Urea	0.40	0.75	0

En otro estudio Suppadit *et al.* (2010) al trabajar con novillas con el fin de evaluar los efectos de la adición de pelets elaborados a base de pollinaza sobre el crecimiento, calidad de la canal, clasificación sensorial, composición química de *Semitendinos* (ST) y contaminación microbiana de la canal aplicaron seis tratamientos de sustitución (0, 10, 20, 30, 40 y 50%) del pelet en

relación a la dieta total. Según los autores el desarrollo productivo en términos de ganancia diaria de peso, consumo de paja de arroz, consumo de pelet, consumo total de materia seca y conversión alimenticia no fue afectada por la dieta ( $P>0.05$ ). La calidad de canal y de la carne, clasificación sensorial y composición química del ST no presentaron diferencia significativa entre tratamientos ( $P>0.05$ ). Los análisis para los cortes de todos los tratamientos resultaron negativos para *Escherichia coli*, *Salmonella spp* y *Campylobacter spp*. Estos resultados indican que el 50% de pellets elaborados a base de cama de pollo pueden ser utilizados efectivamente como ingrediente para ganado. Los mismos autores concluyen que ganado bovino puede consumir pelet de cama de pollo sin riesgo de contaminación de la carne con organismos patógenos siempre y cuando se maneje de manera adecuada. Sin embargo recomiendan un periodo de exclusión del producto peletizado de 15 días previos al sacrificio de los animales con el objetivo de evitar residuos de fármacos o antibióticos en la carne.

Las aseveraciones anteriores pueden suponer un efecto positivo del peletizado de este tipo de subproductos. Suppadit, *et al.* (2002) señalan que la cama de pollo ofrecida directamente a rumiantes puede provocar efectos negativos en el comportamiento productivo ya que genera decrementos en el consumo de alimento asociados con insectos, parásitos, gustocidad y olor, sin embargo, el peletizado de la cama de pollo puede contrarrestar parte de estos problemas. Suppadit, *et al.* (2002) y Suppadit *et al.* (2011) señalan que el peletizado de este tipo de ingredientes puede reducir o eliminar en la cama de pollo gusanos, insectos, microorganismos, malos olores y residuos de antibióticos y hormonas (Suppadit *et al.*, 2008).

Adicionalmente el peletizado de los ingredientes favorece un mejor manejo de los alimentos en cuestiones de transporte, almacenaje y servicio (John *et al.*, 1996). En el mismo sentido Suppadit (2004) señala que la aplicación de un proceso que convierta un ingrediente alimenticio en un



producto ambientalmente seguro y manejable puede generar muchos beneficios en cualquier sistema productivo, situación que puede presentarse con el peletizado de los subproductos.

Por otro lado Bhatt y Firkinings (1995) llevaron a cabo cinco estudios con el objetivo de evaluar la cinética de digestión, hidratación y gravedad específica funcional (FSG) de diversos subproductos agroindustriales (algunos de ellos peletizados) y de dos forrajes (alfalfa y orchardgrass) *in vitro*. Estos autores reportan que la capacidad de retención de agua (WHC) del alfalfa y orchardgrass (1.428 y 1.005 g/g de materia seca insoluble (IDM), respectivamente) fue mayor ( $P < 0.05$ ) que la WHC de los diversos subproductos la cual osciló de .175 para granos de destilería hasta .481 g/g de IDM para pelets de masilla de cerveza. En la misma investigación se reporta que la tasa de hidratación fue más alta para pelets de granos de cervecería y pulpa de remolacha (.215 y .252  $\text{min}^{-1}$  respectivamente) mientras que las menores tasas de hidratación se presentaron con orchardgrass, mazorca de maíz peletizada y cascarilla de soya (.055 a 0.066  $\text{min}^{-1}$ ). El gas producido durante la fermentación retrasó el incremento de la FSG en todos los productos que contenían granos de cervecería, pulpa de remolacha, gluten de maíz, granos de destilería, orchardgrass, alfalfa y harina de trigo pero no fue así para mazorca de maíz peletizada, cascarilla de semilla de algodón y cascarilla de soya. En general para todos los tiempos de incubación el FSH para todos los subproductos estudiados (excepto pulpa de remolacha) fue mayor ( $P < 0.05$ ) o tendió a ser mayor que el alfalfa y el orchardgrass. El tamaño de partícula de los subproductos no afectó la FSG durante la fermentación *in vitro*. Bhatt y Firkinings (1995) concluyen de sus trabajos (resultados en el cuadro 2.18 y cuadro 2.19) que la capacidad de retención de agua y la gravedad específica funcional de los alimentos puede ser útil para predecir la tasa de paso de los alimentos a través del rumen. Estas aseveraciones son importantes para analizar el efecto que pudiera tener algún nuevo producto peletizado sobre el metabolismo ruminal.

Cuadro 2.18.- Cinética de hidratación de algunos ingredientes para la alimentación de rumiantes según el estudio de (Bhatti y Firkins, 1995).

Ingrediente	Parámetros cinéticos*		
	IDM (%)	WHC (g/g) of IDM	Tasa (min <sup>-1</sup> )
Alfalfa molida	67.7j	1.428b	.105cd
Orchardgrass	77.2g	1.005c	.066cd
Granos de cervecería	85.3 e	.257e	.130cd
Granos de cervecería peletizados	79.2 f	.481d	.215b
Granos de cervecería molidos	91.4c	.196e	.141c
Pulpa de remolacha molida	69.8i	.358e	.252b
Harina de trigo	79.5f	.323e	.138cd
Mazorca peletizada	91.1c	.316e	.055d
Cascarilla de semilla de algodón molida	98.1b	.366e	.277b
Cascarilla de soya	88.3d	.305e	.063cd
Gluten de maíz	73.1h	.181e	.109cd
Granos de destilería	67.7j	.175e	.117cd
SEM	.3	.062	.026

\*IDM = Materia seca insoluble; WHC = Capacidad de retención de agua. Literales diferentes representan diferencia significativa entre ingredientes (P<0.05).

Cuadro 2.19.- Efecto del tamaño de partícula sobre la gravedad funcional específica de distintos subproductos contra el tiempo de incubación *in vitro* (Bhatti y Firkins, 1995).

Ingrediente	Horas			
	.5	4	8	27
Subproducto				
Granos de cervecería sin moler	1.47c	1.36bc	2.28c	1.51c
Harina de trigo	1.45	1.33c	1.46b	1.70b
Cascarilla de soya	1.48	1.43b	1.39b	1.35d
Gluten de maíz	1.57	1.29c	1.40b	1.64c
SEM	.03	.03	.03	.04
Tamaño de partícula*				
Grande	1.48	1.33	1.36	1.54
Pequeña	1.51	1.37	1.40	1.56
SEM	.02	.02	.02	.03

- Partículas grandes pasaron a través de cribas de 2.36 mm pero fueron retenidas en una criba de 1.18 mm. Partículas pequeñas pasaron a través de cribas de .66mm pero fueron retenidas en cribas de .3 mm.
- Literales diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05).

El tamaño de partícula y la gravedad específica (SG) representan el 28 y 49 % respectivamente de la variación total en la retención de partículas en el retículo rumen en ovinos (Kaske y Engelhardt, 1990). La gravedad específica es la relación del peso de un volumen dado de un material (gas fluido) con el peso de igual volumen de otra sustancia (muestra de alimento) usada como estándar (Bhatti y Firkins, 1995). Partículas con una densidad de entre 1.2 y 1.5 parecen tener la mayor tasa de paso en bovinos (Murphy et al., 1989) y ovinos (Kato et al., 1988; Kaske y Engelhardt, 1990). Partículas con gravedad específica menor a 1.2 muy probablemente se mantendrán flotando en la porción superficial del contenido ruminal y mayores a 1.5 tenderán a hundirse al menos a menor nivel del orificio retículo-omasal.

En contraste con las partículas inertes las partículas de la mayoría de los ingredientes utilizados en la alimentación de rumiantes son grandemente alteradas por la exposición a las condiciones ruminales (Murphy, et al., 1989; Kaske y Engelhardt, 1990; Wattiaux et al., 1992).

Por otra parte diversos subproductos agroindustriales son inicialmente más densos (por ejemplo gluten de maíz; con una densidad de aproximadamente 1.4; (Siliciano-Jones y Murphy 1991) que forrajes secos (.6 a 1.0; Wattiaux et al., 1992). En el mismo contexto, muchos de los subproductos agroindustriales presentan un tamaño de partícula más pequeño al “tamaño umbral” o “tamaño crítico” (tamaño por encima del cual las partículas son retenidas en el rumen de ovinos; Poppi y Norton, 1980 y bovinos; Shaver et al., 1988).

Una alta gravedad específica y tamaño de partícula pequeño puede combinarse para provocar una reducción en el nivel de filtración a través de los estratos en el rumen (debido al efecto de embalsamiento; Faichney, 1986). Por consecuencia la tasa de paso de subproductos agroindustriales generalmente es mayor a la de los forrajes

## **III MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Localización del área de estudio**

El presente trabajo fue llevado a cabo en diferentes unidades de investigación: Unidad Metabólica e Investigación y Laboratorio de Producción Animal de la Universidad Autónoma Agraria, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas y en el Laboratorio de Polímeros de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

### **3.2 Obtención de los subproductos**

Para la elaboración de la presente investigación se utilizó levadura de cerveza inactiva y granos de cervecería provenientes de la empresa Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma S. A. de C. V. ubicada en la ciudad de Monterrey Nuevo León. Los ingredientes que complementaron la elaboración del producto peletizado fueron subproductos de diversas industrias: harina de papa (bagazo), bagazo de maíz y residuos de frituras (maíz, papa y trigo) obtenidas en la ciudad de Saltillo y Ramos Arizpe Coahuila provenientes de las empresa Fertilizantes Orgánicos Biogenix® S. de R.L. de C.V. También se incluyeron en la formulación del producto peletizado desechos de la industria avícola (*pollinaza*), salvado de trigo y melaza, dichos ingredientes fueron obtenidos en la ciudad de Zacatecas, Zacatecas.

### **3.3 Caracterización y evaluación de la materia prima**

Fundamentado en el hecho de que la levadura y los granos de cervecería constituyen la fuente de variación de los tratamientos del presente estudio estos fueron evaluados fisicoquímicamente mediante diversas pruebas.

#### **3.3.1 Análisis Bromatológico**

Los componentes proximales 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). Estos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición y Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

#### **3.3.2 Espectrofotometría Infrarroja**

Este análisis se realizó mediante la implementación de la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier ó FTIR por sus siglas en inglés (*Fourier transform infrared spectroscopy*). Se llevó a cabo mediante el empleo de un instrumento Perkin-Elmer equipado con una reflexión simple atenuado por un accesorio refractante total (ATR) colocado en el compartimiento de la muestra con una resolución de  $1\text{ cm}^{-1}$ .

### **3.3.3 Evaluación de la degradación ruminal**

Dado que la presente investigación pretende evaluar el uso de granos de cervecería (GC) y de levadura (L) ya sea de forma combinada o separada en dietas para rumiantes, estos subproductos fueron sometidos a una prueba de degradación *in vitro* (DIV) con líquido ruminal. Con el fin de evaluar el nivel de degradación individual pero además las posibles interacciones entre ambos subproductos se utilizaron las siguientes combinaciones: 0% GC- 100% L; 25% GC – 75%; 50% GC – 50% L; 75% GC – 25%L y 100% GC – 0%L. La DIV consistió en la incubación de cada uno de las combinaciones de granos de cervecería y levadura a diferentes tiempos (0, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 horas). La incubación de las diferentes combinaciones fue realizada de acuerdo con la metodología Daisy<sup>II</sup>(ANKOM Corp, NY, EEUU 2008).

### **3.4 Formulación de mezclas alimenticias con subproductos agroindustriales**

Con el objetivo de acercarse lo más posible a una “mezcla óptima” de subproductos (mezcla que genere buena calidad del pelet pero además buena calidad nutricional y bajo costo) se formularon originalmente en base a diversas propiedades de los subproductos (tamaño de partícula, propiedades de mezclado, composición química y precio/kg) 9 mezclas alimenticias teniendo como principal factor de variación entre las distintas combinaciones los niveles de levadura y granos de cervecería.

En el mismo sentido, también se consideró que cada una de las mezclas cumplieran con los requerimientos “mínimos” para la elaboración de comprimidos (no necesariamente de buena calidad): capacidad de compresión y contenido de humedad (mínimo 5% máximo 25%) y. Las fórmulas de las diferentes mezclas elaboradas se presentan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1.- Fórmulas alimenticias elaboradas a base de diferentes subproductos agroindustriales.

Ingrediente	Contenido (%)								
	F1	F2*	F3	F4*	F5	F6	F7	F8*	F9
Levadura de cerveza	0	0	18	15	18	15	3	5	15
Granos de cervecería	25	20	0	0	5	10	22	18	5
Bagazo de maíz	18	15	21	15	20	15	15	13	21.5
Harina de papa (bagazo)	7	10	10	12	8	7	8	10	7
Residuos de frituras	7	10	7	10	6	7	6	8	6
Salvado de trigo	20	26	22	23	20	22	23	19	24
Melaza	8	10	7	10	7	9	8	12	8
Pollinaza	6	6	6	6	6	5	6	6	5
Zeolita	9	3	9	9	10	10	9	9	8.5
Humedad*	20.5	15.6	22.1	17.8	22	25.3	23.8	19.5	22

\* Contenido inmediato después del mezclado.

### 3.5 Elaboración del producto peletizado

Las formulaciones de la etapa anterior fueron sometidas a un proceso de peletizado considerando para la elaboración del producto un tamaño de partícula ( $\leq$  a 6 mm), contenido de humedad de la mezcla ( $<$  25%) y nivel de aglutinante ( $\leq$  10%). El proceso de peletizado se realizó solamente mediante presión omitiendo la etapa de acondicionamiento. Para la etapa de extrusión se utilizó matriz de 7 mm de diámetro en el área de salida.

### 3.6 Selección de mezclas después del procesado

Una vez que las mezclas fueron sometidas al proceso de peletizado se llevó a cabo una selección de las combinaciones de subproductos que mejor calidad de comprimido generaban (ver figuras 3.1 y 3.2), es decir, la selección se basó



en la capacidad de aglutinamiento y a la estabilidad final del producto. Para esto fueron descartadas las fórmulas 1, 3, 5, 6, 7 y 9 (figura 3.2).



Figura 3.1.- Ejemplos de fórmulas alimenticias a base de subproductos que fueron descartadas en el estudio: A) fórmula con 25 % de granos de cervecería: pelets quebradizos y de baja conformación; B) fórmula con 18% de levadura: pelets medianamente formados y de poca resistencia; C) atascamiento en el punto de extrusión debido a pobres propiedades del peletizado de la fórmula 5: pelets con 18% de levadura y 5% de granos de cervecería D) fórmula con 15% levadura y 10 % de granos de cervecería: pelets que recién se alcanzan a formar debido a una alta proporción de alimentos de baja densidad (granos de cervecería) y alto contenido de humedad.



Figura 3.2.- Fórmulas a base de subproductos aceptadas en el estudio. A) fórmula 2: pelets con 20% de granos de cervecería; B) fórmula 4: pelets con 15% de levadura; y C) fórmula 8: pelets con 18% de granos de cervecería y 5%

de levadura. Las tres fórmulas presentan una estabilidad y conformación del pelet aceptables.

### 3.7 Elaboración de un producto base para el estudio de digestibilidad

Con el objeto de evaluar la interacción: característica fisicoquímica del pelet y aceptación animal se elaboró y peletizó una nueva combinación de subproductos.

Teniendo en cuenta que los problemas en cuestiones de formación y estabilidad del pelet se presentan generalmente cuando se utilizan niveles mayores del 20% de subproductos de cervecería se formuló una mezcla que incluyó solamente 14% de estos ingredientes (9% de granos de cervecería y 5% de levadura) (cuadro 3.2).

Cuadro 3.2.- Composición del “producto peletizado base” utilizado para evaluar el consumo, coeficientes de digestión de nutrientes, balance de nitrógeno y perfil ruminal en ovinos mediante prueba de digestibilidad *in vivo*.

<b>Ingrediente</b>	<b>Contenido (%)</b>
Levadura de cerveza	9
Granos de cervecería	5
Bagazo de maíz	31
Harina de papa (bagazo)	4.2
Residuos de frituras	8.4
Salvado de trigo	29.5
Melaza	8.7
Pollinaza	0
Zeolita	4.2
Nivel de humedad*	13.9

\* Contenido inmediato después del mezclado.

Esta nueva combinación se utilizó solo para cuestiones de evaluación de la digestibilidad *in vivo* (ver capítulo 3.9), es decir, analizar si efectivamente las características que el equipo de extrusión utilizado estaba generando en el producto, coincidía con las propiedades históricas atribuidas a un alimento peletizado, y con esto obtener bases y argumentos para la utilización de las fórmulas aceptadas con mayores niveles de subproductos en pruebas de comportamiento con rumiantes.

### **3.8 Caracterización química y evaluación de la estabilidad de los productos peletizados**

Tanto producto peletizado base (PB) como las mezclas experimentales (fórmula 2: pelet a base de granos de cervecería, fórmula 8: pelet a base de levadura y fórmula 4: pelet a base de granos de cervecería y levadura) fueron sometidos a diferentes pruebas para evaluar parte de sus propiedades químicas, digestivas y de estabilidad.

#### **3.8.1 Análisis Bromatológico**

Las cuatro combinaciones de subproductos fueron analizadas siguiendo la misma metodología del punto 3.3.1: métodos de la AOAC, (1997) y Goering y Van Soest, (1970).

#### **3.8.2 Producción de micropartículas (“fines”)**

Para evaluar parte de la resistencia de los productos se realizaron pruebas de tamizado tanto del producto base como de las mezclas experimentales. Las muestras fueron depositadas en tamices de 1 y 6 mm y agitadas manualmente durante 10 minutos.

Con el fin de comparar los resultados en este rubro, también fue considerado en esta prueba un producto peletizado para cerdos establecido ya

comercialmente (engordapork de maltaCleyton ®) que comparte similares características fisicoquímicas con los productos en estudio.

### 3.8.3 Degradación *in vitro*

Para tener indicios o bases sobre la digestibilidad de los productos peletizados se llevaron a cabo pruebas de degradación *in vitro* (DIV) de cada una de las mezclas experimentales. La DIV consistió en la incubación de cada uno de las combinaciones de subproductos a diferentes tiempos (0, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 horas). La incubación de las diferentes combinaciones fue realizada de acuerdo con la metodología Daisy<sup>II</sup>(ANKOM Corp, NY, EEUU 2008).

### 3.8.4 Ajuste de la cinética de degradación a diferentes tasas de flujo ruminal

Con objeto de complementar la información obtenida se calcularon los niveles de degradación obtenidos a diferentes tasas de flujo ruminal mediante la utilización del programa NEWAY Program (Rower Research Institute).

Las curvas de degradación fueron ajustadas asumiendo que la desaparición de la MS de los sacos de nylon en el tiempo sigue un proceso cinético de primer orden (Orskov y McDonald, 1979), descrito por la ecuación:

$$P(t) = a + b(1 - \exp(-c * t))$$

Donde:

$P$  = cantidad de alimento que desaparece del saco después de un tiempo  $t$  de permanencia en el rumen.

$a$  = fracción rápidamente degradable.

$b$  = fracción lentamente degradable.

$c$  = tasa de degradación ( $h^{-1}$ ) de la fracción  $b$  (Orskov y McDonald, 1979).

### 3.9 Prueba de digestibilidad *in vivo*

Previo a la evaluación de la respuesta animal al ser alimentados con los tres productos finales, se realizó una prueba metabólica con el producto base para obtener información elemental respecto a las características fisicoquímicas de este tipo de ingredientes en la alimentación de rumiantes. Esta prueba consistió en sustituir el producto base en polvo por el producto base en pelet.

#### 3.9.1 Prueba de alimentación

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 5 tratamientos. Cada etapa tuvo una duración de 14 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.

#### 3.9.2 Tratamientos

Se evaluaron 5 tratamientos con 5 repeticiones. En todos los tratamientos se utilizó 30% de heno de sorgo molturado como forraje. Los tratamientos se presentan en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3.- Ingredientes y cantidades utilizadas del producto base (PB) para cada tratamiento aplicado en la prueba de digestibilidad *in vivo*.

Tratamiento	Forraje %	Concentrado 70 %	
		PB sin peletizar %	PB peletizado %
1	30	100	0
2	30	75	25
3	30	50	50
4	30	25	75
5	30	0	100

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

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

Coeficientes de digestibilidad:

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

Coeficientes 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).

### **3.9.4 Cálculo de las variables.**

#### **3.9.4.1 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):

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

### **3.9.4.2 Valoración energética**

#### **3.9.4.2.1 Cálculo de nutrientes digestibles totales (NDT)**

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

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

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

#### **3.9.4.2.2 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):

$$ED = (NDT * 4.409) / 100$$

$$EM = (ED * .82)$$

$$ENm = (EM * .52)$$

$$ENg = (EM * .15)$$

### 3.9.4.3 Cálculos de balance de N

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

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

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

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

### 3.10 Evaluación de las dietas experimentales en prueba de comportamiento

Se llevó a cabo una prueba de alimentación con el objeto de evaluar la inclusión de los diferentes productos peletizados en dietas integrales para ovinos en crecimiento. Para esto se utilizaron 20 ovinos cruzados de la raza texel x charolais recién destetados nacidos en marzo de 2012 con un peso promedio de 15.3 kg.



### **3.10.1 Prueba de alimentación**

La prueba de alimentación tuvo una duración total de 76 días. La prueba estuvo dividida en dos fases: adaptación y periodo de prueba. El periodo de prueba a su vez estuvo dividido en dos etapas, las cuales tuvieron una duración de 37 y 25 días. En cada etapa se utilizó una dieta diferente en correspondencia al peso corporal alcanzado por los animales; sin embargo, los niveles de producto peletizado de cada tratamiento se mantuvieron constantes en cada una de las etapas (20%).

#### **3.10.1.1 Adaptación de los animales**

La duración del periodo de adaptación fue de 14 días. Los primeros cuatro días los animales recibieron solamente forraje (heno de avena molido) y en los días restantes se realizó un cambio gradual de la dieta sustituyendo el forraje (20% cada dos días) por una dieta formulada correspondiente a la primera etapa de la prueba de alimentación.

#### **3.10.1.2 Primera etapa**

Esta etapa tuvo una duración de 37 días, desde el 25 de mayo al 30 de junio de 2012. La relación forraje:concentrado para esta etapa fue de 30:70 (cuadro 3.4).

Cuadro 3.4.- Fórmulas alimenticias utilizadas durante la primera etapa de la prueba de comportamiento en ovinos.

Ingrediente	Contenido (%)			
	T1	T2	T3	T4
<b>PM</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>PL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0</b>
<b>PML</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>
Avena forraje	30	30	30	30
Maíz molido (bagazo)	24	16	16	16
Harinolina	9	9	9	9
Melaza	3	3	3	3
Sorgo	17	5	5	5
Soya	13	13	13	13
Semilla de algodón	1.3	1.3	1.3	1.3
Carbonato de Ca	1.5	1.5	1.5	1.5
Fosfato monodivaleante	1.2	1.2	1.2	1.2
Materia seca (%)	88.89	89.02	88.71	88.63
NDT (%)	67.5	68.5	67.4	68
PC	14.64	14.23	14.3	14.10
Ca	0.90	0.91	0.91	0.90
P	0.70	0.65	0.67	0.64

Tratamientos: **SP**- sin producto peletizado, **PM**-30% de pelet (20% de masilla), **PL**-30% de pelet (15% de levadura), **PML**-30% de pelet (18% de masilla y 5% de levadura).

### 3.10.1.3 Segunda etapa

Esta etapa tuvo una duración de 37 días, desde el 1 al 25 de julio de 2012. La relación forraje:concentrado para esta etapa fue de 18:82 (cuadro 3.5)

Cuadro 3.5.- Fórmulas alimenticias utilizadas durante la segunda etapa de la prueba de comportamiento en ovinos.

Ingrediente	Contenido (%)			
	T1	T2	T3	T4
<b>PM</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>PL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0</b>
<b>PML</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>
Avena forraje	18	18	18	18
Salvado	8	8	8	8
Maíz molido (bagazo)	12.5	12.5	12.5	12.5
Harinolina	12	12	12	12
Melaza	3	3	3	3
Sorgo	35	15	15	15
Soya	5	5	5	5
Grasa Animal	3	3	3	3
Carbonato de Ca	1.5	1.5	1.5	1.5
Fosfato Monodivalente	1.5	1.5	1.5	1.5
Sal	0.5	0.5	0.5	0.5
Materia seca (%)	88.89	89.02	88.71	88.63
NDT (%)	67.5	68.5	67.4	68
PC	14.64	14.23	14.3	14.10
Ca	0.90	0.91	0.91	0.90
P	0.70	0.65	0.67	0.64

Tratamientos:

**SP-** sin producto peletizado.

**PM-**30% de pelet (20% de masilla).

**PL-**30% de pelet (15% de levadura).

**PML-**30% de pelet (18% de masilla y 5% de levadura).

### 3.10.2 Servicio de alimento

El alimento se sirvió a los ocho a.m. y a las cuatro p.m. El alimento ofrecido el primer día de la prueba fue al 6% del peso vivo, posteriormente el alimento ofrecido fue ajustado al consumo por parte de los animales. La cantidad de alimento rechazado por día era retirado de los comederos, recibiendo así alimento “fresco” en su mayor parte.

### 3.10.3 Variables determinadas en la prueba de comportamiento

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

- ✓ Comportamiento productivo
  - Consumo diario de materia seca (CDMS)
  - Ganancia diaria de peso (GDP)
  - Conversión alimenticia (CA)
  
- ✓ Metabolitos en suero sanguíneo
  - Glucosa
  - Urea
  - Creatinina
  - Colesterol
  - Proteínas totales
  
- ✓ Concentración de AGV's
  - Acético
  - Propiónico
  - Butírico
  - Relación acetato:propionato
  - pH

#### 3.10.3.1 Comportamiento productivo

Debido a que la preparación de alimentos se realizaba cada semana, la variable CDMS se ajustó en base al alimento preparado por semana menos la cantidad de alimento faltante al final de la misma, dividiendo el resultado entre siete para obtener los valores correspondientes a consumo diario.

Los animales fueron pesados al inicio y al final de cada etapa y en base a la duración de las mismas se determinó la ganancia diaria de peso. Los valores de

conversión alimenticia se determinaron en base a las variables anteriores (CDMS/GDP).

### **3.10.3.2 Determinación de metabolitos**

Para la determinación de los metabolitos sanguíneos se obtuvo una muestra de sangre por animal al final de cada etapa. Las muestras se obtuvieron a través de la vena de yugular. Para cada muestra se utilizaron técnicas recomendadas por los laboratorios RANDOX, Y WIENER LAB.

### **3.10.3.3 Determinación de ácidos grasos volátiles**

Para la determinación de la concentración de ácidos grasos se tomaron muestras de líquido ruminal de cada uno de los animales al final de la prueba. La metodología correspondió a técnicas según Tejada (1992) y Castellanos *et al.*, (1990).

### **3.10.4 Evaluación de calidad de la canal**

Una vez finalizada la prueba de comportamiento dos animales por tratamiento fueron sacrificados con el objetivo de evaluar parte de la calidad de la canal. Las variables analizadas fueron:

#### **3.10.4.1 Rendimiento de la canal**

Se determinó como porcentaje tomando en cuenta el peso caliente de la canal en relación al peso al sacrificio.

#### 3.10.4.2 Área del ojo de la costilla

Se llevó a cabo una lectura superficial en  $\text{cm}^2$  del musculo central (*longissimus dorsi*) entre la doceava y treceava costilla mediante el uso de plantillas (figura 3.3)

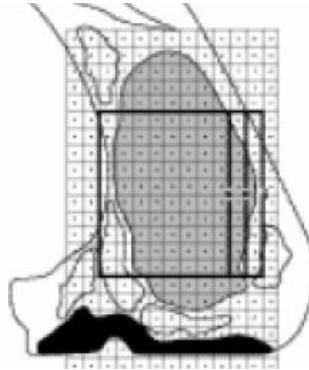


Figura 3.3.- Colocación de la plantilla para medir el área del ojo de la costilla

#### 3.10.4.3 Grasa de cobertura

La medición se realizó a través de una regla graduada en milímetros ( $\text{mm}$ ), que se ubicó en el borde de la capa de grasa que cubre el ojo de la costilla.

#### 3.10.4.4 Marmoleo

Se calificó por simple observación de la distribución y grosor de las vetas de grasa en el área del ojo de la costilla, generando cinco grados distintos de intensidad, grado 1 uno (nulo), 2 (ligero), 3 (modesto), 4 (moderado) y 5 (abundante).

#### 3.10.4.5 Color

La medición se realizó con un fotolorímetro MINOLTA CR-400. Se tomaron lecturas en tres puntos diferentes de la muestra, obteniendo como

resultado los campos L\*a\*b\* los cuales se ubican en el diagrama de cromaticidad

Donde:

L = Luminosidad

a y b = Coordenadas de cromaticidad

a (+) = Indica color rojo

a (-) = Indica color verde

b (+) = Indica color amarillo

b (-) = Indica color azul

#### **3.10.4.6 Punción**

Para este parámetro se utilizó un penetrómetro FT-327 con una puntilla de 8 milímetros de diámetro tomando lecturas en tres puntos diferentes del musculo *longissimus dorsi*, obteniendo los resultados en kg/cm<sup>2</sup>.

### **3.11 Análisis estadístico**

#### **3.11.1 Pruebas de degradación**

Para evaluar si existía diferencia significativa entre tratamientos en las variables referentes a la degradación *in vitro* y a los valores ajustados a tasa de flujo ruminal se utilizó un diseño completamente al azar mediante el procedimiento GLM utilizando el paquete estadístico MINITAB (versión MES3.3.0). Las regresiones para cada tratamiento también fueron realizadas mediante el mismo paquete estadístico. Los valores de degradación de la materia seca se ajustaron a la tasa de flujo ruminal (k) mediante la utilización del programa NEWAY Program (Rower Research Institute). La comparación de medias post-ANOVA se realizó mediante la prueba de Tukey.

### **3.11.2 Prueba de digestibilidad *in vivo***

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) utilizando el paquete MINITAB (versión MES3.3.0). Con el objeto de determinar el momento en que las diferencias entre concentrado peletizado y sin peletizar comenzaron a ser significativas, la comparación de medias post-ANOVA se realizó mediante polinomios ortogonales.

### **3.11.3 Prueba de comportamiento**

Tanto las variables de comportamiento productivo (CMS, GDP y CA), perfil metabólico en suero sanguíneo (glucosa, proteínas totales, creatinina, urea colesterol, calcio y fósforo) y perfil ruminal (pH, ácido acético, propiónico y butírico) fueron analizadas mediante un diseño de bloques al azar (bloqueo por peso) utilizando un total de 5 bloques por tratamiento mediante el procedimiento GLM utilizando el paquete MINITAB (versión MES3.3.0).



## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de los subproductos de cervecería

#### 4.4.1 Análisis Bromatológico

La composición química de los principales subproductos utilizados (granos de cervecería y levadura) se presenta en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1.- Evaluación bromatológica de los subproductos de cervecería utilizados como materia prima en la presente investigación.

Subproducto	Contenido (%)							
	MS	EE	Cenizas	PC	FC	FDN	FDA	ELN
Levadura	15.9	2.3	7.4	46.9	3.1	1.1	1.1	40.3
Masilla o granos de cervecería	19.1	9.6	4.2	25.4	22.6	46.0	23	38.2

Resultados expresados en base materia seca

Los resultados obtenidos constituyen la base de trabajo para las posteriores evaluaciones del presente estudio. En primera instancia se puede observar que los valores de análisis coinciden con las propiedades atribuidas históricamente a este tipo de subproductos. La levadura presenta valores de proteína que coinciden con lo reportado por otros autores (Cruickshank, 2002, y NRC 2002), situación explicada por la naturaleza microbiana del subproducto. Su importancia en este caso se basa en que aporta casi un 47 % de proteína bruta (base seca) de excelente valor biológico para su uso en la alimentación del rumiante.

Por su parte los granos de cervecería presentan valores de pro similares a los reportados por Álvarez y Valdivie (1980), es decir, alrededor del

26 %, pero además aporta buena cantidad de fibra (22.6%), situación que ha permitido considerar a este subproducto como suplemento fibroso y además como una fuente de energía y proteína en la dieta de rumiantes (Westendorf y Wohlt, 2002; NRC, 2001, Younker, 1998).

#### 4.1.2 Espectrofotometría Infrarroja

Al igual que la caracterización química el análisis de FTIR de los subproductos genera información que permite comprender en mayor medida el comportamiento de estos ingredientes una vez procesados mediante extrusión. Los resultados de este análisis se presentan en la figura 4.1.

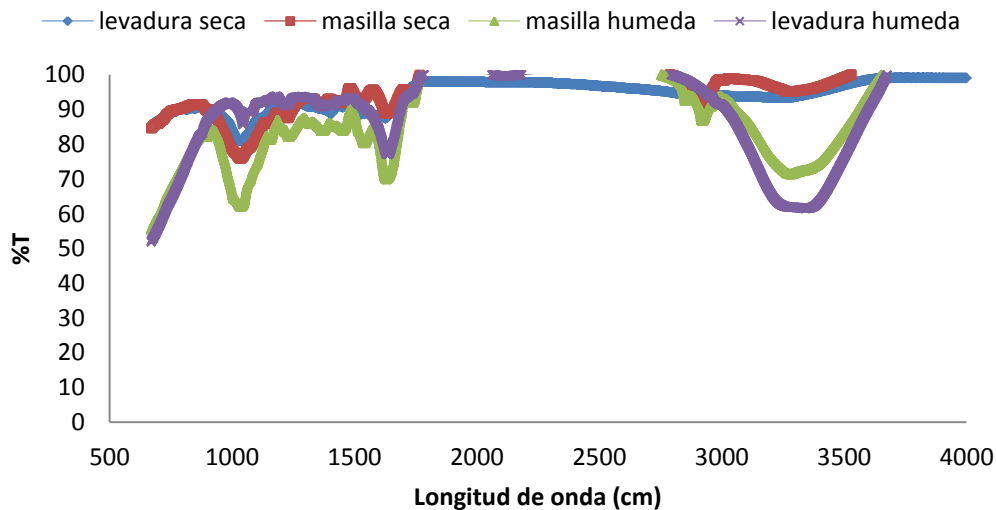


Figura 4.1.- Espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier para los subproductos de cervecería (levadura y masilla) en forma húmeda y en base seca.

En la región de  $3100-3600\text{cm}^{-1}$  (región de grupos O-H) se observa un decremento en el nivel de transmitancia para el caso de ambos subproductos en forma húmeda, siendo ligeramente mayor para el caso de la levadura. Esta absorción puede ser debida a los puentes de hidrógeno producidos por una mayor cantidad de agua libre en las muestras. Dicha situación permite confirmar

que durante el proceso de aglutinamiento propio del sistema de extrusión estos subproductos deben interactuar con moléculas capaces de retener agua por ejemplo almidones con bajo contenido de humedad (gran número de hidroxilos libres capaces de retener agua). En este caso, dado la finalidad del producto final (alimento para rumiantes) el bagazo de maíz seco podría ser una buena alternativa para contrarrestar los altos niveles de agua libre de ambos subproductos.

En el mismo contexto, aun cuando un alto contenido de humedad de los ingredientes pareciera ser una desventaja, es importante señalar que el hecho de que la cantidad de agua ligada e inmovilizada en la masilla y en la levadura sean relativamente bajos (en relación al agua libre), su adición en la mezcla a peletizar permite cubrir una demanda básica del proceso de extrusión, ya que el nivel óptimo de humedad en el proceso de aglutinamiento oscila entre el 10 y el 20% (Bhenke, 2006; Nathier-Dufour *et al.* 1995) y la mayor cantidad de dicha humedad debe presentarse en forma de agua libre, por lo que adicionar cualquiera de los subproductos en proporciones no mayores al 30 % permitirá una mayor interacción de las moléculas de los distintos ingredientes con lo que se puede mejorar el nivel de aglutinamiento de las partículas.

Por otro lado se tiene que la región  $1200-1800\text{ cm}^{-1}$  se caracteriza por la presencia de grupos carboxilos observándose un pico mayor en la masilla debido posiblemente a que la masilla empleada proviene de un proceso fermentativo productor de alcohol.

#### **4.1.3 Degradación ruminal**

El comportamiento de la degradación *in vitro* de la materia seca (DIVMS) para los subproductos de cervecería tanto en forma individual como en combinada se presentan en la figura 4.2 se puede apreciar en términos generales una mejor DIVMS de la levadura en comparación de la masilla.

Además es importante señalar que la DIVMS se aumenta en las combinaciones que incluyen masilla cuando se adiciona levadura.

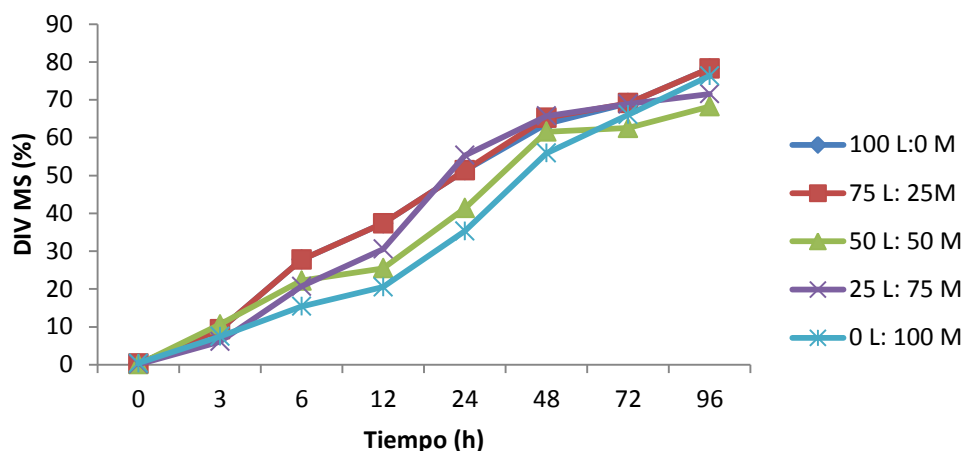


Figura 4.2.- Cinética de degradación de diferentes combinaciones (%) de subproductos de cervecería (levadura:L y masilla o granos de cervecería M).

Un punto importante en este primer análisis se puede distinguir observando el comportamiento de la combinación 25%L: 75%M. La DIVMS de esta combinación se mantiene más baja que cuando se utiliza simplemente levadura, sin embargo, a partir de un tiempo de degradación de 24 h, la DIVMS de la combinación 25%L: 75%M aumenta por encima de los valores que cuando solo se utiliza levadura o cualquier otra combinación. Dicha situación puede explicarse posiblemente con un efecto asociativo de los subproductos. Guerrero (2011) señala que cuando se utilizan niveles de hasta 20% de masilla en la ración de toretes de engorda los rendimientos productivos pueden verse ligeramente disminuidos, sin embargo, dicho autor menciona que la adición de levadura puede contrarrestar estos efectos. Esto posiblemente se deba a que la masilla contenga un elevado contenido de MS potencialmente degradable, no obstante su naturaleza química (alto contenido de FDN) limita su utilización por parte de los microorganismos en las primeras horas de incubación, sin embargo, cuando se proporciona a los microorganismos un sustrato más fácilmente fermentable como lo es la levadura se estimula y se da tiempo para

que a cierto nivel ocurra el mayor aprovechamiento de la masilla por parte de los microorganismos impactando obviamente la DIVMS de manera global.

#### 4.2 Evaluación de las mezclas peletizadas

La caracterización química de los cuatro productos peletizados (3 para prueba de comportamiento y 1 producto base) se presenta en el cuadro 4.2. En él se puede observar que a pesar de que las cuatro mezclas presentan propiedades físicas (tamaño de partícula, color y dureza) muy similares su composición química es diferente, situación que puede impactar su inclusión en programas alimenticios para rumiantes.

Cuadro 4.2.- Análisis bromatológico, correspondiente a los cuatro tratamientos utilizados en esta investigación.

Numéricamente se puede observar que los cuatro tratamientos son similares en cuanto al contenido de proteína cruda, sin embargo existen ciertas diferencias en las fracciones de fibra especialmente de FDA las cuales eventualmente pueden impactar los niveles de degradación. Otro apartado en

	MS (%)	PC (%)	FC (%)	FDN (%)	FDA (%)	EE (%)	Cenizas (%)	ELN (%)	Ca	P
<b>PM</b>	88,64	9,20	5,09	47,07	8,52	5,49	11,53	68,69	0,08	0,07
<b>PM L</b>	87,10	9,80	5,67	54,46	11,21	4,56	27,57	52,40	0,08	0,08
<b>PL</b>	87,69	9,02	7,17	55,32	13,94	3,54	24,19	56,08	0,09	0,05
<b>PB</b>	88,58	8,90	4,59	55,32	7,57	6,03	16,51	63,79	0,07	0,05

el cual parece haber diferencias es en el contenido de materia orgánica, esto puede ser debido a las variaciones de cenizas de cada mezcla. Lo anterior tiene sentido si consideramos que el nivel de zeolita fluctuó en cada uno de los tratamientos con el objeto de mejorar la consistencia del producto final en base a los ingredientes que estaban siendo utilizados.

#### 4.2.1 Cinética de degradación de los productos peletizados

Los niveles de degradación *in vitro* de la materia seca se presentan en el cuadro 4.3 No se encontraron diferencias significativas para los tiempos 0, 6, 24, 48, 72 y 96 horas ( $P>0.05$ ). Sin embargo se presentaron diferencias entre tratamientos en la en incubación a 12 horas ( $P<0.05$ ).

Cuadro 4.3.- Nivel de degradación de la materia seca de diferentes tratamientos elaborados a base de subproductos agroindustriales.

TRATAMIENTO	Tiempo (h)						
	0	6	12*	24	48	72	96
PM	30.8	49.4	61.2a	63.5	63.6	64.5	64.9
PL	30.5	52.4	60.3ab	61.2	65.1	66.1	66.9
PML	32.2	52.9	57.1b	59.9	63.6	63.4	63.5
PB	25.9	50.1	62.7a	64.6	61.0	65.9	66.5

\* Literales diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos ( $P<0.05$ ). Los valores reportados para el tiempo "0" corresponden a la pérdida de material de la bolsa al ser sumergidos y retirados al instante en líquido ruminal.

En base a lo señalado por otros autores (Wallace, 1985; NRC, 2001; Rotger, 2004) se puede observar que para los cuatro tratamientos, en sus diferentes tiempos (0, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 horas) se tiene un comportamiento normal, en cuestión de degradabilidad, sin embargo haciendo un análisis en particular de cada uno de ellos, se observa que el **PML** (18% de masilla – 5% de levadura) en el tiempo cero, presenta mayor pérdida de material en las bolsas posiblemente debido a que este tratamiento presentan mayor cantidad de componentes solubles situación que provoca que se pierda material rápidamente, o al menos, en mayor cantidad al contacto con el líquido ruminal. Sin embargo, para los tiempos restantes el **PML** fue el que obtuvo menor degradación, presentando un decremento significativo ( $P<0.05$ ) en el tiempo 12 horas. Se puede entender que a pesar de que este tratamiento presenta elevado contenido de material soluble la fracción restante puede corresponder a

material con menor potencial de degradación en relación al presentado en los tratamientos **PM**, **PL** y **PB**. En este contexto el tratamiento con 18% de masilla y 5% de levadura puede ser el menos recomendable desde el punto de vista de degradación. Sin embargo, la adición de masilla en la mezcla no parece ser la encargada por sí sola de provocar el decremento en la degradación ya que dicha reducción no se presenta al adicionar 20% de masilla (**PM**). En este sentido, Aguilera *et al.* (2007) mencionan que raciones con niveles elevados de masilla (superiores al 40%), no afecta el crecimiento, fermentación ruminal ni los parámetros digestivos de corderos de engorda, aunque el contenido de materia seca, FDN, FDA y EE tiene una gran variación cuando se aumentan los niveles de masilla en la dieta.

Por otra parte, los resultados observados hasta esta etapa de cierta manera no coinciden con lo reportado por Guerrero (2011). Dicho autor trabajando con ganado bovino de engorda reportó un efecto asociativo entre masilla y levadura de cerveza, situación que generaba mejores resultados en el comportamiento productivo de los animales en relación a la utilización de dichos ingredientes por separado. Lo anterior puede contradecir los resultados de la presente investigación basado en el hecho de que la respuesta animal tiene una inmensa relación con el nivel de degradación de la materia seca a nivel ruminal. En este caso cabría la distinción de que una prueba *in vivo* considera más factores asociados a la digestibilidad en relación a una prueba *in vitro* como lo fue en este caso la incubación mediante el digestor Daisy.

Los resultados del cuadro 4.4 se presentan de manera más grafica en la figura 4.3 demostrando la cinética de la degradación de la materia seca en un análisis del comportamiento individual de cada uno de los tratamientos.

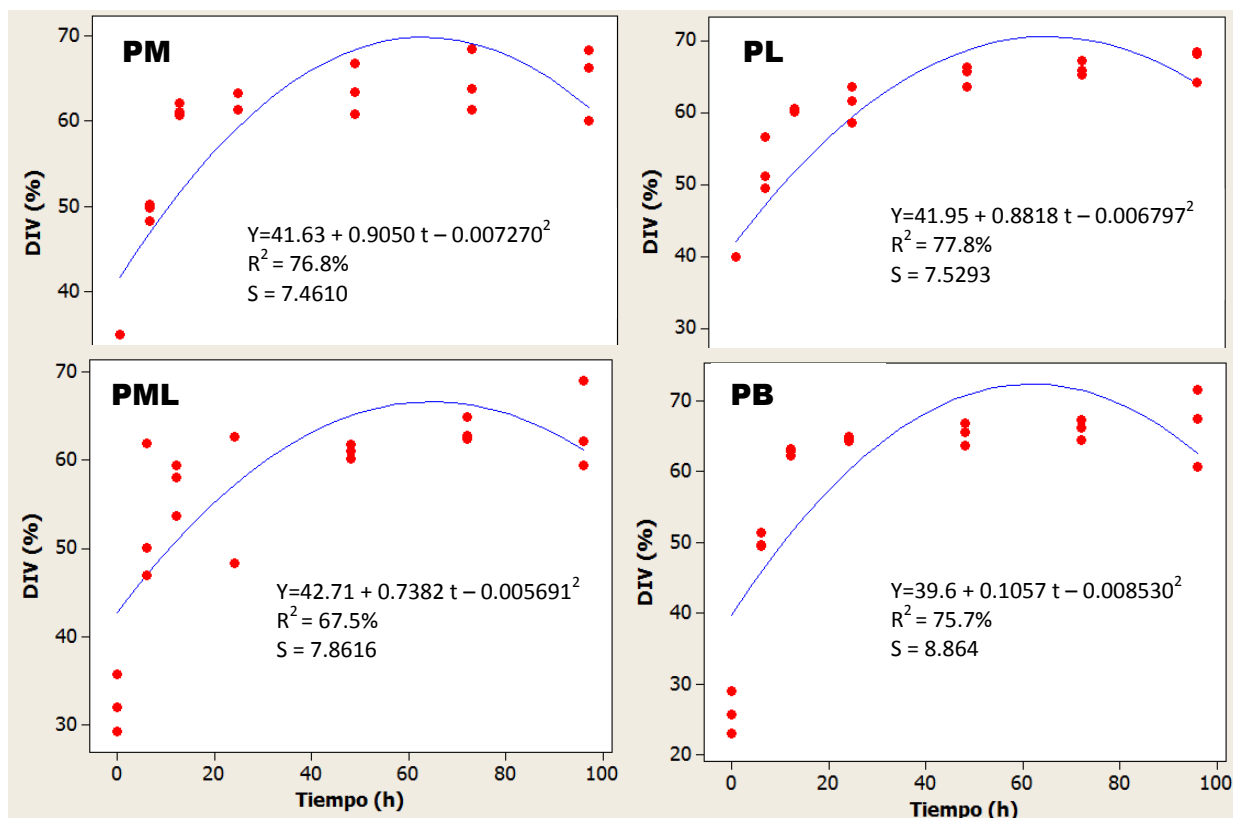


Figura 4.3.- Cinética de degradación de la materia seca estimada como porcentaje de degradación *in vitro* para cada uno de los cuatro tratamientos.

Como se observa en la figura 4.3 en cada uno de los tratamientos existe un comportamiento ascendente inicialmente, llegando a un punto máximo, donde posteriormente comienza a decrecer, lo que en realidad representa el punto en que se empieza a alcanzar la fracción C del alimento (Sniffen *et al.*, 1992). A partir de las gráficas de regresión y de las ecuaciones generadas en las mismas se realizó el cálculo de lo que es el punto máximo de degradación de la materia seca (MDMS) el cual se presenta en el cuadro 4.4.



Cuadro 4.4.- Nivel máximo de degradación de la materia seca (MDMS) y tiempo requerido para alcanzar este nivel en diferentes mezclas alimenticias elaboradas a base de subproductos de cervecería

TRATAMIENTO	MDMS (%)*	TR (h)
PM	69.2 <sup>a</sup>	63
PML	70.5 <sup>a</sup>	65
PL	66.6 <sup>b</sup>	65
PB	72.3 <sup>a</sup>	65

\* Literales diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos (P<0.05).

En el cuadro 4.4 se observa que los puntos máximos alcanzados para los diferentes tratamientos muestran diferencia significativa (P<0.05). El **T3** continúa siendo el tratamiento menos rentable desde el punto de vista de degradación. Esta situación puede contradecir lo señalado con anterioridad ya en las pruebas de degradación de los subproductos (masilla y levadura) se había señalado que proporciones masilla:levadura cercanas al 75:25 eran los que aparentemente generaban mayores niveles de degradación. Sin embargo, Rosero y Posada (2007) señalan que la digestión en el rumiante es un proceso complejo que involucra múltiples interacciones entre la dieta, los microorganismos ruminales y el hospedero. Separar el proceso en sus distintos componentes permite un mejor entendimiento de su dinámica y facilita su descripción matemática. Por lo que ajustar los niveles de degradación a un sistema dinámico (tal como lo es el rumiante) mediante el modelo de primer orden propuesto por Orskov y McDonald (1979) será de mayor utilidad.

#### 4.2.2 Degradación de MS ajustada a diferentes tasas de flujo ruminal

Con el argumento de que los resultados *in vitro*, representan el comportamiento de la degradación en un sistema cerrado y no de flujo continuo como sucede realmente en el rumiante, se realizó un ajuste a los niveles de degradación de los tratamientos a diferentes tasas de flujo ruminal (cuadro 4.5).

En este sentido se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) a una tasa ruminal de **0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09**. Mientras que para una tasa ruminal de **0.01, 0.02, 0.03, 0.010, 0.011, 0.012** no se reportaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ).

Cuadro 4.5.- Nivel de degradación de los tratamientos elaborados a base de subproductos, ajustados a diferentes tasas de flujo ruminal.

T	Tasa de flujo ruminal (k)											
	0.01	0.02	0.03	0.04*	0.05*	0.06*	0.07*	0.08*	0.09*	0.010	0.011	0.012
<b>PM</b>	59.1	57.3	55.9	54.4c	53.1bc	51.8bc	50.6c	47.7b	48.3b	47.3	46.3	45.4
<b>PL</b>	59.5	58.0	56.6	55.3b	54.1ab	52.9b	51.8b	50.8 <sup>a</sup>	50.5ab	48.9	48.0	47.2
<b>PML</b>	58.6	57.8	57.2	56.6a	55.0a	55.5a	55.1 <sup>a</sup>	52.7 <sup>a</sup>	53.1 <sup>a</sup>	49.7	49.1	47.5
<b>PB</b>	60.4	58.2	56.2	54.2c	52.4c	50.7c	49.1d	48.2b	46.9b	47.0	46.6	46.4

\* Literales diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

En el cuadro 4.5 se puede observar que el efecto que venía presentándose con anterioridad se invirtió al ajustar los datos a diferentes tasas de flujo ruminal, es decir, previo al ajuste el tratamiento con mayor degradación de la materia seca correspondía a la mezcla con menor nivel de subproductos de cervecería (5% masilla y 9% de levadura) o **PB** y el “peor” tratamiento correspondía al **PML** (mezcla con mayor contenido de subproductos de cervecería), sin embargo posterior al ajuste esta situación se invirtió por completo para las tasas de flujo ruminal donde se presentó diferencia significativa.

Esto hace coincidir nuevamente los resultados con Guerrero (2011) en el sentido de que la interacción de masilla y levadura generan resultados positivos en la digestión del rumiante, situación que se ve reflejada en el rendimiento productivo de los animales.

### 4.2.3 Evaluación de estabilidad del pelet

Los resultados para la producción de micropartículas (*finés*) de los productos peletizados se presentan en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6.- Estabilidad del pelet en base al porcentaje de micropartículas de los diferentes productos peletizados generados durante el procedimiento de

Calibre tamiz	PC	PB	PM	PL	PML
1 mm	95.24	92.42	92.86	94.05	88.86
6 mm	92.86	87.88	89.67	91.48	82.52

tamizado

PC (producto peletizado comercial engordapork de malta Cleyton®), PB (producto peletizado base: 9% de levadura, 5% de masilla), PM (pelet con 20% de masilla), PL (pelet con 15% de levadura) y PML (pelet con 18% de masilla y 5% de levadura).

Numéricamente se puede observar que tanto con el tamiz de 1 mm como con el de 6 mm el producto comercial es el que mayor estabilidad presenta, sin embargo los productos peletizados que contienen solo un subproducto (PM y PL) mantienen una estabilidad muy aceptable y prácticamente similar a la del producto comercial. En este sentido Thomas et al. (1997) señala que subproductos de cebada y de trigo presentan una estabilidad durante el proceso de peletizado superior al 90% siempre cuando se tenga un control sobre el contenido de humedad de los subproductos (utilizarlos en base seca). Por otra parte Bhenke (2006) señala que utilizar ingredientes con un tamaño de partícula muy reducida puede mejorar ciertos parámetros físicos del pelet tales como una mayor densidad y durabilidad. En este contexto aumentar los niveles de masilla y de levadura en forma húmeda puede tener dos efectos negativos sobre la calidad del pelet:

- Por un lado, aunque la humedad favorece el proceso de aglutinamiento, utilizar niveles altos de subproductos con alto contenido de humedad

genera un efecto inverso debido a que un exceso de agua libre no permite la adecuada adhesión entre las partículas solidas del alimento.

- El mayor tamaño de partícula (7mm) y la propiedad fibrosa de la masilla reducen la capacidad de compactación de la mezcla durante el peletizado. Bhenke (2006) señala al respecto que utilizar partículas de baja densidad (forrajes o ingredientes fibrosos) genera mayor consumo de energía en el proceso de peletizado simplemente debido a un mayor diferencial de densidades entre el ingrediente original y el demandado por el producto final peletizado. Por su parte Stevens (1987) y California pellet mil Company establecen que productos de baja densidad y de mayor tamaño de partícula pueden generar pelets más sensibles a fracturas y con mayor producción de microparticulas.

Estas dos condiciones explican de cierta manera el hecho de que la adición de 18% de masilla o granos de cervecería y 5 % de levadura en la mezcla a peletizar reduzca la estabilidad final del pelet. Sin embargo, es importante señalar que cuando se adicionan estos subproductos en cantidades menores (tal es caso del PM o PL) los valores de estabilidad final del producto aumentan considerablemente. Incluso reducir al mínimo los niveles de los subproductos (situación que se da con el producto peletizado base) no resulta en los mayores valores de estabilidad del pelet. Por lo que hasta este nivel se puede señalar que adicionar subproductos de cervecería en la mezcla a peletizar favorece la calidad del pelet siempre y cuando los valores entre ambos subproductos no superen en 20%. Estas aseveraciones son de importancia cuando se considere el manejo alimenticio de los pelets y el comportamiento animal, De acuerdo a numerosos estudios (Thomas *et al.*, 1997, 1998; Walczynski, 2004) una buena calidad del pelet incrementa la eficiencia alimenticia de los animales mientras que pelets de baja calidad pueden impactar negativamente el rendimiento productivo de los animales (Obidziński, 2007).

### 4.3 Prueba de digestibilidad *in vivo* con el producto peletizado base (PB)

#### 4.3.1 Coeficientes de digestibilidad

Para este análisis se presenta en el cuadro 4.7 primeramente la caracterización nutricional para la prueba de alimentación con el producto peletizado base (PB).

Cuadro 4.7.- Caracterización nutricional de los tratamientos utilizados durante la prueba de digestibilidad *in vivo* con el producto peletizado base (9% de masilla y 5% de levadura).

Determinación	Inclusión de PB (%)				
	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

La inclusión de diferentes niveles del PB en la ración para ovinos, produjo efectos significativos sobre los coeficientes de digestibilidad de la

materia seca (DMS) ( $P < 0.01$ ). De igual manera se presentó diferencia significativa para la digestibilidad del extracto etéreo (DEE) y de la fibra detergente neutro (DFDN) ( $P < 0.01$ ); 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 4.8.

Cuadro 4.8. Consumo diario de materia seca (CMS) y coeficientes de digestibilidad de los componentes de la dieta para ovinos alimentados con diferentes niveles de PB en base al concentrado.

Variable Respuesta	Inclusión de PB (%)					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>	0.001
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>	0.002
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 (68.72%) para la inclusión de 75% de pelet en base al concentrado, no obstante, 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) por lo que eventualmente se puede considerar al producto peletizado como ingrediente de alta digestibilidad.

Ahora bien, aun cuando el coeficiente de DMS parece mejorar en cualquier nivel de inclusión del PB en relación al testigo, la línea ajustada, cuyo análisis presentó un efecto significativo para ajuste cuadrático ( $P=0.001$ ) permite un mejor análisis y la obtención de un rango para establecer el nivel óptimo de inclusión del PB en base al concentrado (figura 4.4).

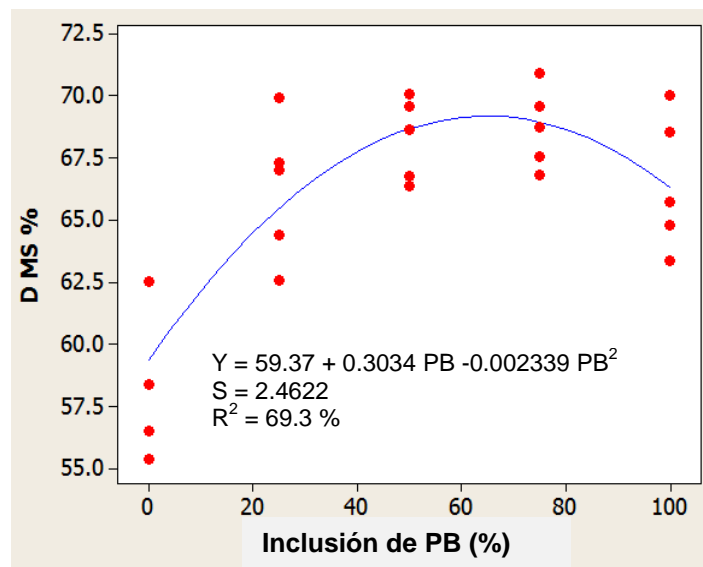


Figura 4.4.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DMS en dietas con diferentes niveles de inclusión de PB en base al concentrado.

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 se puede señalar que la mayor digestión de la materia seca se presenta con niveles de inclusión 60 a 70 % del PB 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 4.5 se puede observar el comportamiento del consumo de MS para cada uno de los tratamientos.

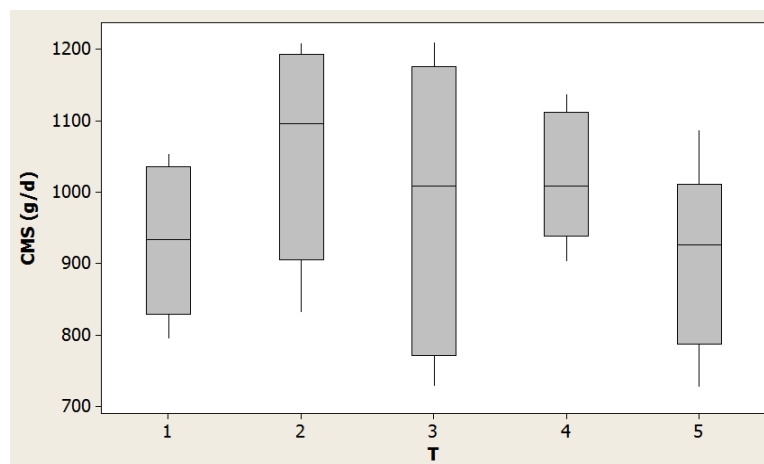


Figura 4.5.- Comportamiento del consumo de materia seca en ovinos alimentados con diferentes niveles de PB en base al concentrado (T1=0%, T2=25%, T3=50%, T4=75%, T5=100%).

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 PB.

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 y 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 el coeficiente de digestibilidad de alguno de los nutrientes y por ende el de DMS incrementara en relación al testigo al adicionar el PB en base al concentrado.

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 PB

Por otro lado diversos autores (Welch, 1986 y Kaske y Engelhardt, 1990) han demostrado que además del tamaño, la densidad de partícula afecta igualmente 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 PB: 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.

No obstante, los valores de la línea de ajuste permiten señalar que el comportamiento de la DMS fue creciente hasta un nivel de 65% de inclusión de PB 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 y DFDN aumentan de forma significativa ( $P < 0.05$ ) conforme se incrementan los niveles del pelet en el concentrado (figura 4.6 y 4.7). Sin embargo al igual que para el coeficiente de DMS se presentó un efecto significativo para ajuste de línea cuadrática ( $P = 0.031$ ).

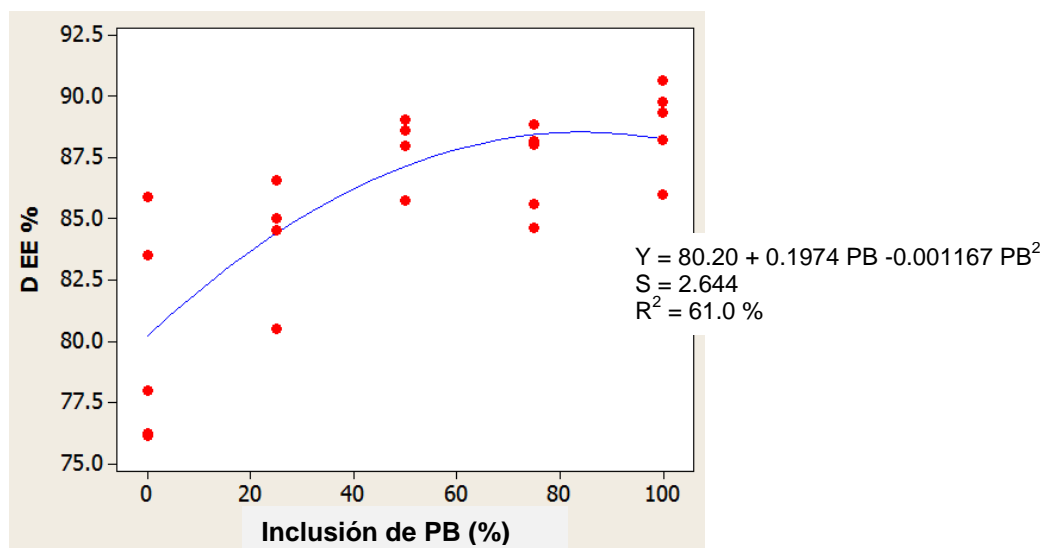


Figura 4.6.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DEE en dietas con diferentes niveles de inclusión de PB en base al concentrado.

La ecuación de predicción de los datos obtenidos en la figura 4.6 ( $Y = 80.2 + 0.1974 x - 0.001167 x^2$ ) 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 (figura 4.7).

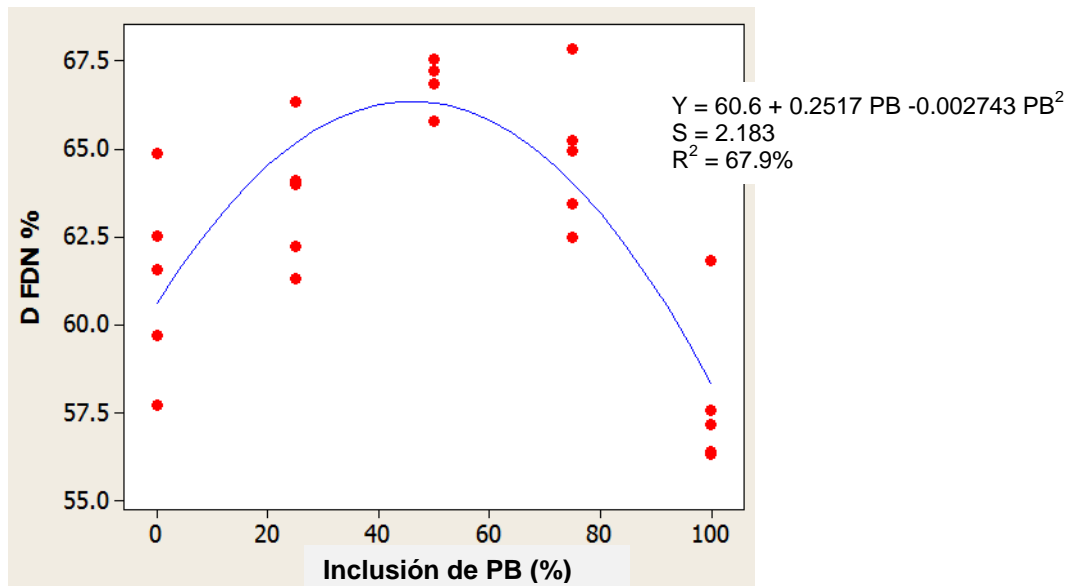


Figura 4.7.- Gráfica de línea de ajuste para los coeficientes de DFDN en dietas con diferentes niveles de inclusión de PB en base al concentrado.

En base a lo anterior, los valores ajustados más elevados de DFDN y DEE supone de forma general un efecto relacionado entre el nivel de inclusión de PB, tasa de degradación y fermentación ruminal ya que los últimos dos factores se asocian con el tamaño y exposición de la partícula a los microorganismos del rumen según Rusell Huespell (1981), bajo esta situación, 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.

### 4.3.2 Evaluación del contenido energético

La inclusión de diferentes niveles de PB en la ración para ovinos, no produjo efectos significativos sobre los valores de NDT ( $P>0.05$ ). De la misma forma tampoco se presentaron variaciones significativas ( $P>0.05$ ) sobre los demás parámetros de valoración energética: EN, EM, ENm y ENg (cuadro 4.9).

Cuadro 4.9. Valores energéticos de la dieta utilizada en la alimentación de ovinos, con diferentes niveles de PB en base al concentrado.

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

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

En relación a que en los tratamientos no se encontró diferencia significativa ( $P>0.05$ ) en el contenido de NDT 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.

Partiendo de que los demás parámetros energéticos (ED, EM, ENm, ENg) fueron obtenidos a través de cálculos basados en el valor de NDT, era posible que no existiera variación significativa ( $P>0.05$ ) para cada uno de ellos. En este sentido, al no haber diferencia en el cálculo matemático para NDT el

comportamiento de los parámetros del sistema calorimétrico se mantuvieron similares.

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

La inclusión de diferentes niveles de PB 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 4.10.

Cuadro 4.10. Coeficientes de balance de nitrógeno (BN), nitrógeno retenido consumido NRC (NRC) y nitrógeno retenido aparentemente absorbido (NRAA) en ovinos alimentados con diferentes niveles de PB en base al concentrado.

Variable Respuesta	Inclusión de PB (%)					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 ( $P>0.05$ ).

La similitud en los resultados ( $P>0.05$ ) en este apartado, son hasta cierto nivel predecibles 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.

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 enfoca 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 permite aseverar que la cantidad de N se mantuvo constante. De forma obvia 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 se puede 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.

Estas situaciones coinciden con las aseveraciones de Tamminga (1975) y Weimer (1998). Estos autores 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 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 tampoco hubo diferencia significativa ( $P>.05$ ).

#### **4.4 Prueba de comportamiento**

##### **4.4.1 Respuesta productiva**

La inclusión de productos peletizados a base de diferentes combinaciones de subproductos para ovinos no produjo efectos significativos ( $P>0.05$ ) sobre el CMS ni sobre la CA durante la primera etapa; sin embargo, la GDP fue mayor ( $P<0.05$ ) para los tratamientos que incluyeron PM o PL. Durante la segunda etapa ninguna de las variable fue alterada significativamente ( $P>0.05$ ), sin embargo, la tendencia de la etapa uno se mantuvo presentando ganancias numéricas mayores cuando se utilizó PM o PL. Para el análisis de la prueba completa el PML presentó menores GDP ( $P<0.05$ )

que los tratamientos restantes, aunque estadísticamente la CA no fue modificada entre tratamientos. Los resultados se presentan en el cuadro 4.11

Cuadro 4.11.- Comportamiento productivo de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos de cervecería.

Variable	SP	PM	PL	PML
Primera Etapa				
CMS (g/d)	880	1080	1060	920
GD (g/d)*	270b	370ab	400a	250b
CA	3.75	2.93	2.70	3.81
Segunda Etapa				
CMS (g/d)	1330	1330	1335	1165
GD (g/d)	250	240	310	240
CA	5.35	5.58	5.31	5.64
Prueba Completa				
CMS (g/d)	1100	1210	1200	1040
GD (g/d)*	290ab	310ab	360a	260b
CA	3.94	3.83	3.32	4.02

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

SP- sin producto peletizado, PM-20% de pelet (20% de masilla); PL-20% de pelet (15% de levadura) y PML-20% de pelet (18% de masilla y 5% de levadura).

Se puede apreciar que conforme se adicionan pelets que en pruebas anteriores presentaron mayor grado de calidad (PM y PL) la GDP aumenta, además el CMS y la CA presentan una tendencia a mejorar cuando se adiciona estos subproductos (aún cuando no se presenta diferencia significativa). En este sentido se cumplen las atribuciones históricas a este tipo de alimentos procesados. McKinney y Teeter (2004) señalan que nutricionalmente, el peletizado del alimento posibilita un aumento natural de la energía en las dietas, debido a la gelatinización de los carbohidratos y a la reducción del gasto energético en la aprehensión de los alimentos. Behnke (2006) atribuye al proceso de peletizado la reducción del desperdicio y selección de alimento por parte del animal y muerte de microorganismos patógenos que impactan sobre la respuesta productiva, por su parte Guerrero (2011) señala que el alimento peletizado se asocia con productos de mayor estabilidad y mejores características físicas que hacen del alimento un producto más fácil de manejar.



Jackson *et al.*, (2006) reporta que la utilización de pelets elaborados a base de subproductos mantiene estables los rendimientos productivos de cabras aun cuando los ingredientes utilizados en el pelet son de baja gustocidad animal (pollinaza) situación que pone en evidencia características positivas de peletizar el alimento. Suppadit, *et al.* (2002) señalan que la cama de pollo ofrecida directamente a rumiantes puede provocar efectos negativos en el comportamiento productivo ya que genera decrementos en el consumo de alimento asociados con insectos, parásitos, gustocidad y olor, sin embargo, el peletizado de este tipo de ingredientes puede contrarrestar parte de estos problemas. En otros estudios (Thomas *et al.*, 1997, 1998; Walczynski, 2004) se señala que una buena calidad del pelet incrementa la eficiencia alimenticia de los animales mientras que pelets de baja calidad pueden impactar negativamente el rendimiento productivo de los animales (Obidziński, 2007).

Bajo las condiciones planteadas, analizar el tipo de ingrediente y las proporciones de cada uno durante el proceso de peletizado adquiere mayor importancia. Los resultados dejan en claro que el peletizado puede llegar a ser una buena opción en la alimentación del rumiante siempre y cuando se obtengan buenos estándares de calidad en la producción del pelet. De no cumplirse esta situación, peletizar el alimento pudiera en determinado caso ser una actividad contraproducente debido a que si la calidad del pelet se mantiene pobre, los bajos rendimientos productivos que se pudieran generar no justificarían el costo extra por concepto de peletizado.

Hasta antes de la prueba de comportamiento se mencionó que combinar granos de cervecera y levadura en la elaboración de pelets producía mejores resultados de degradación debido a que la interacción entre ambos subproductos generaba mejores condiciones digestivas y ruminales. Sin embargo, involucrar los factores de comportamiento animal y manejo alimenticio de alguna manera modificó dichas condiciones:

*“combinar masilla y levadura puede impactar positivamente las condiciones ruminales, sin embargo, utilizar esta combinación en un producto peletizado puede reducir la calidad del mismo por lo que las propiedades positivas de la interacción entre ambos subproductos se puede perder”* debido a que los animales al momento de consumir alimentos pueden practicar selección y no consumir lo que realmente se espera aun cuando la dieta haya sido formulada de acuerdo a los requerimientos propios del animal.

Lo anterior no significa que combinar masilla y levadura en la alimentación del rumiante sea totalmente perjudicial, ya que si bien el tratamiento que incluía ambos subproductos no produjo los mejores resultados desde el punto de vista productivo ni de calidad del pelet, al menos el producto peletizado que combina masilla y levadura mantiene mayor estabilidad que cuando los subproductos se utilizan directamente sin procesar.

De acuerdo con lo anterior, el factor principal que determinaría el aumento en el comportamiento productivo cuando se utiliza pelet de mejor calidad (PM o PL) estaría ligado al tamaño y densidad de partícula propio del pelet, que a su vez se relaciona con el tiempo de retención ruminal y a la eficacia de los procesos de reducción de ese tamaño, sobre todo durante la rumiación y la actividad degradativa de los microorganismos, y no tanto a un mayor consumo de alimento. Al respecto Murphy *et al.*, (1989) señalan que partículas con una densidad de entre 1.2 y 1.5 parecen tener la mayor tasa de paso en bovinos; Katoh *et al.*, (1988) y Kaske y Engelhardt (1990) señalan los mismos valores para ovinos. Partículas con gravedad específica menor a 1.2 muy probablemente se mantendrán flotando en la porción superficial del contenido ruminal y mayores a 1.5 tenderán a hundirse al menos a menor nivel del orificio retículo-omasal (Kaske y Engelhardt,, 1990) esta situación indudablemente impacta el tiempo de retención lo que puede explicar por qué a mayor densidad del alimento peletizado los niveles de degradación son mayores, reflejándose a cierto nivel en la respuesta productiva. En el mismo

contexto Bhatt y Firkings (1995) señala que el peletizado de granos de cervecera puede aumentar la gravedad específica funcional (FSG) y la tasa de hidratación del alimento lo que refleja un aumento en el nivel de degradación de este tipo de subproductos, posiblemente por el efecto mencionado del tamaño de partícula y densidad propia del producto peletizado.

#### 4.4.2 Concentraciones de ácidos grasos volátiles y niveles de pH

La inclusión de productos peletizados a base de diferentes combinaciones de subproductos para ovinos produjo alteraciones significativas ( $P < 0.05$ ) sobre los niveles de ácido acético, propiónico y butírico. Por su parte los niveles de pH fueron más altos ( $P < 0.05$ ) cuando se adicionó el pelet de masilla o el de levadura en relación al tratamiento testigo y al pelet que combinó masilla y levadura (cuadro 4.12).

Cuadro 4.12.- Concentraciones de ácidos grasos volátiles y niveles de pH en líquido ruminal en ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos de cervecera.

Variable	SP	PM	PL	PML
Ac. acético mM/l	20 b	24.8 a	24.3 a	19.8 b
Ac. propiónico mM/l	5.7 b	7.0 a	7.3 a	5.4 b
Ac. butírico mM/l	4.2 b	6.2 a	5.2 ab	4.0 b
ac:pr	3.5	3.6	3.3	3.8
pH	6.5b	6.9 <sup>a</sup>	6.6ab	6.5b

SP- sin producto peletizado, PM-20% de pelet (20% de masilla); PL-20% de pelet (15% de levadura) y PML-20% de pelet (18% de masilla y 5% de levadura).

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

Se puede observar que los mejores resultados en las concentraciones de ácidos grasos, especialmente de ácido acético y propiónico, se obtienen cuando se utiliza PM o PL. Lo anterior coinciden con lo reportado por Guerrero *et al.*

(2011) quienes señalan que la adición de masilla en niveles de hasta el 20% en la dieta de bovinos de engorda aumentan las concentraciones de ácido acético, propiónico y butírico en líquido ruminal. De la misma forma estos autores señalan que dichos aumentos en las concentraciones de ácidos grasos pueden no presentarse si a las dietas que contienen masilla se les adiciona levadura en forma húmeda debido posiblemente a un efecto de dilución a nivel ruminal, es decir, que el desarrollo bacteriano provocado por la adición de la masilla se vea afectado por un factor relacionado con la tasa de dilución de las bacterias y/o del contenido ruminal al agregar un ingrediente con alto contenido de agua como lo es la levadura. Por otro lado Aguilera *et al.* (2007) señalan que adicionar subproductos de cervecería especialmente masilla hasta niveles de 50% no modifica las concentraciones de ácidos grasos ni tampoco los valores de pH en líquido ruminal de ovinos.

Contrastando los resultados de la presente investigación con los de Aguilera *et al.* (2007) cabría señalar que el peletizado de subproductos de cervecería mejoran los parámetros ruminales en ovinos en comparación cuando su uso es directo y sin procesar, siempre y cuando los niveles de los subproductos en el pelet no excedan el 20% de lo contrario se puede producir un pelet de mala calidad que resulte en efectos negativos tal y como se mencionó anteriormente.

Ahora bien, el aumento en las concentraciones de ácidos grasos al adicionar pelet de masilla o levadura se dan en forma proporcional, situación que provoca que la relación acético:propiónico no se vea alterada. Por otra parte, utilizar pelets de buena calidad (PM y PL) parece regular el pH ruminal tal y como se había planteado en la prueba de digestibilidad *in vivo* ya que la modificación del tamaño y densidad de partícula durante el peletizado mejoran el ambiente ruminal debido a una mayor retención de partículas en el rumen (Moritz, 2007) y probablemente también a una mayor producción de saliva que

actúa como reguladora del pH tal como ocurre en el caso de los forrajes al aumentar el tamaño de partícula.

#### 4.4.3 Perfil metabólico en suero sanguíneo

La inclusión de productos peletizados a base de diferentes combinaciones de subproductos para ovinos produjo efectos significativos ( $P < 0.05$ ) sobre las concentraciones plasmáticas de glucosa y urea durante la primera etapa (cuadro 4.13), sin embargo las concentraciones de proteínas totales, creatinina, colesterol, calcio y fósforo en suero sanguíneo no fueron modificadas por la inclusión de algún producto peletizado. Ningún metabolito fue alterado durante la segunda etapa ( $P > 0.05$ ).

Cuadro 4.13.- Perfil metabólico en suero sanguíneo de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados.

Variable	SP	PM	PL	PML
	Primera Etapa			
Glucosa mg/dl	21.17b	42.34ab	47.68a	45.8a
Urea mg/dl	12.78ab	10.06ab	15.68a	7.934b
Proteínas Totales mg/dl	40.98	47.92	54.14	39.24
Creatinina mg/dl	4.59	7.54	7.26	5.646
Colesterol mg/dl	136.8	150.8	166	134.2
Calcio mg/dl	11.12	11.23	13.65	9.56
Fósforo mg/dl	1.66	2.22	2.43	2.09
	Segunda Etapa			
Glucosa mg/dl	57.4	58	67.88	56.92
Urea mg/dl	17.50	24.64	23.01	11.162
Proteínas Totales mg/dl	48.98	38.38	45.7	36.92
Creatinina mg/dl	9.51	7.30	7.184	6.51
Colesterol mg/dl	158	157.8	194.8	122.6
Calcio mg/dl	14.80	10.31	14.16	10.05
Fósforo mg/dl	2.48	2.57	2.26	2.07

SP- sin producto peletizado, PM-20% de pelet (20% de masilla); PL-20% de pelet (15% de levadura) y PML-20% de pelet (18% de masilla y 5% de levadura). \*Literales diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Los resultados anteriores empiezan a dejar en claro una marcada tendencia en relación a cual pelet es el mejor ya que en la concentración metabólica donde se presentó diferencia significativa (glucosa y urea durante la primera etapa), nuevamente el PM y el PL fueron los que mejores resultados generaron y aun cuando los demás metabolitos no presentaron diferencia estadística la tendencia positiva se mantuvo, remarcando nuevamente la importancia de utilizar pelets de buena calidad.

Ahora bien, dado que la degradación ruminal y el metabolismo pos digestivo en el rumiante mantienen una estrecha relación, las concentraciones de ácidos grasos volátiles y niveles de pH analizados pueden ayudar a comprender el comportamiento de las concentraciones de glucosa y urea en suero sanguíneo. Las concentraciones de glucosa en plasma sanguíneo representan una fuente de energía en el rumiante y provienen de los ácidos grasos producidos y absorbidos a nivel ruminal especialmente del ácido propiónico (Zavaleta, 2002). Por su parte la urea es usada para evaluar el metabolismo proteico, este metabolito se origina del amonio absorbido en el rumen o del catabolismo de amino ácidos, y en ambas vías, la ingesta de energía y proteínas puede modificar el contenido de ambos metabolitos (Collin et al., 1998, Church, 1993). Dada esta situación era de esperarse que el efecto positivo ocasionado a nivel ruminal con pelets de masilla o levadura (mayor tiempo de retención ruminal, mayores niveles de degradación y posiblemente mayor producción de saliva) siguiera impactando a nivel plasmático, aumentando significativamente con ello los niveles de glucosa y urea en suero sanguíneo.

#### **4.4.4 Evaluación de calidad de la canal**

La inclusión de productos peletizados a base de diferentes combinaciones de subproductos para ovinos no produjo efectos significativos ( $P > 0.05$ ) sobre la variable AOC (área del ojo de la costilla), marmoleo ni tampoco sobre la punción, sin embargo el rendimiento de la canal, la GC (grasa

de cobertura) y diversos parámetros de color (L y b) presentaron diferencia estadística entre tratamientos (cuadro 4.14).

Cuadro 4.14.- Perfil metabólico en suero sanguíneo de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados.

T	Peso vivo (kg)	Peso canal (kg)	Rendimiento (%)*	Área ojo de la costilla (cm <sup>2</sup> )	Grasa de cobertura (mm)*	Marmoleo	Punción (kg/cm <sup>2</sup> )	Color*		
								L*	a*	b*
SP	28	14.5	51.8b	33.5	3.5ab	1	5.88	38.46b	13.24	3.87b
PM	31.5	17	53.9a	34.0	4.5ab	1	5.13	40.56ab	14.57	4.51ab
PL	32	16.5	51.6b	32.5	5.5a	1	5.77	39.05ab	14.97	4.11b
PML	32	16	50.0b	34.0	3.0b	1	5.27	40.75a	14.85	5.95a

\*Literales diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos

SP- sin producto peletizado, PM-20% de pelet (20% de masilla); PL-20% de pelet (15% de levadura) y PML-20% de pelet (18% de masilla y 5% de levadura).

En el cuadro 4.14 se puede observar que para ciertas variables se mantiene la tendencia presentada con anterioridad. El rendimiento de la canal (%) aumentó con la adición del PM (de 51.8 a 53.9 % en relación al testigo). Por otro lado la GC se mantiene similar cuando se adiciona el PM y el PML pero aumenta significativamente cuando se utiliza el PL. Por su parte El AOC no presentó variaciones entre tratamientos. Torrescano *et al.* (2010) y Ferrario y Fernández (2007) señalan que el AOC representa una característica de la canal de mediana heredabilidad y que la genética animal mantiene una estrecha relación con esta variable. Por lo anterior, el hecho de que el AOC un fuera alterada tanto negativa como positivamente puede indicar que los animales utilizados mantenían similares aptitudes para la producción de carne. Bajo esta situación, el análisis de las demás variables adquiere mayor importancia ya que las diferencias encontradas entre tratamientos apuntarían en mayor medida a la utilización de los diferentes productos peletizados.

En estas condiciones se puede interpretar que los efectos positivos causados en el proceso digestivo del rumiante cuando se utiliza el PM o PL

siguen impactando no solamente al nivel de perfil metabólico en suero sanguíneo si no a nivel de calidad de la canal.

Satter y Whitlow (1997), Preston (1973) y Krause (1973) señalan que utilizar granos de cervecería puede mejorar los rendimientos en la producción de carne debido a que el aporte de fibra de este ingrediente puede regular las condiciones ruminales pero sobre todo a que aporta una buena cantidad de proteína de sobrepaso lo que mejora la eficiencia del nitrógeno y por ende la productividad animal. Por su parte Cruickshank, (2002, y NRC (1994) reportan que la levadura puede generar mejores rendimientos productivos debido a que aporta un alto contenido de proteína bruta con excelente valor biológico, un alto contenido de aminoácidos como lisina; vitaminas, principalmente del grupo B, inclusive tienen bajo contenido de ácido nucleico y ninguna sustancia tóxica ni alergénica si se maneja en adecuadas condiciones ambientales (Stone, 1998).

Posiblemente el hecho de proporcionar mayor estabilidad a los subproductos de cervecería mediante el proceso de peletizado (para el caso de PM y PL) permite que las características anteriores atribuidas a este tipo de subproductos realmente se hagan presentes e impacten el proceso digestivo del rumiante, con lo que se puede llegar a favorecer algunas características de la canal como lo fue en este caso el rendimiento para el PM y la GC para el PL. Cabría esperar que al igual que los efectos positivos del PM y PL se siguen reflejando hasta este nivel, el impacto “negativo” generado sobre la calidad del pelet al combinar masilla y levadura también se siga reflejando en la calidad de la canal, ya que si bien el PML nunca perjudicó el rendimiento productivo tampoco mostró efectos positivos en la respuesta productiva animal, perfil metabólico ni calidad de la canal.

Por otra parte valores similares de punción en la carne indican que el uso de cualquiera de los productos peletizados puede ser irrelevante en cuestiones de mejorar la suavidad de la carne sin embargo el color si puede ser



ligeramente alterado ya que la utilización de los pelets especialmente de PML produce cortes con tendencias más claras (mayor nivel de luminosidad) en relación a una dieta sin pelets. Dentro del mismo contexto del color, el parámetro  $a^*$  (el cual se relaciona con el tono rojo de la carne) demuestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos lo que eventualmente puede indicar que los niveles de oxidación de la mioglobina en la carne por un contacto prolongado con el oxígeno no son alterados por el tipo de alimentación (utilización de alguno de los subproductos y peletizado de la dieta).

#### 4.4.5 Tendencias de costos

Analizar la tendencia de costos percibida durante la prueba de alimentación es muy importante ya que no necesariamente existe una correlación positiva entre la eficiencia biológica y la económica. Para el caso de la actual investigación el adicionar cualquier producto peletizado en la dieta integral de ovinos reduce el costo del alimento (\$/kg) (figura 4.8).

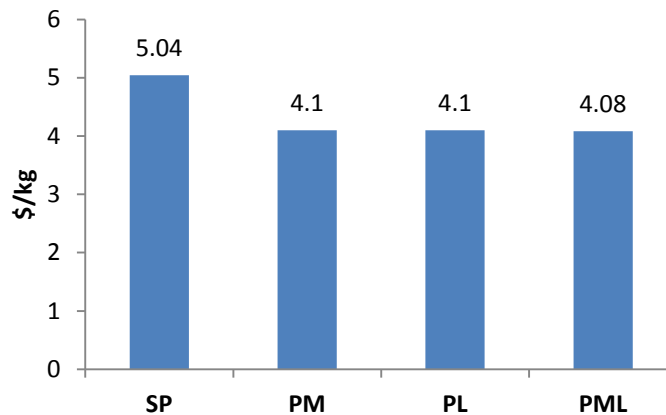


Figura 4.8.- Costo por kg de alimento para cada tratamiento utilizados durante la prueba de comportamiento.

Lo anterior supone una ventaja para cualquiera de las combinaciones de subproductos utilizada ya que la reducción de casi un peso por kg de alimento entre la dieta testigo y la que incluía algún producto peletizado adquiere relevancia si trasladamos los valores a sistemas de producción de mayor

escala, donde la reducción de costos por concepto de alimentación representa un factor de carácter fundamental en la producción animal.

Ahora bien, el costo por kg de alimento pudiera reducirse aun más si se aumentan los valores de inclusión del pelet en la ración. En este sentido, la evaluación de la digestibilidad *in vivo* discutida anteriormente deja en evidencia que es posible aumentar a más del 20% el nivel de inclusión de pelet en la dieta basado en el hecho de que con un producto base el mayor nivel de digestión de la materia seca se encontró con una inclusión cercana al 65% del pelet en la dieta.

Por otro lado también es importante analizar la relación del costo por kg de producto. Los resultados al respecto se presentan en la figura 4.9.

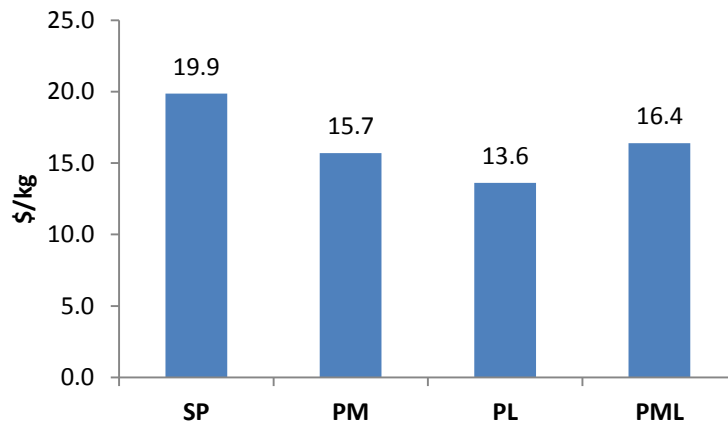


Figura 4.9.- Relación de costo requerido para generar un kilo de producto en ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos agroindustriales.

La gráfica anterior permite señalar que al menos para la presente investigación la calidad del pelet, la eficiencia biológica y la económica están correlacionadas positivamente, ya que los productos peletizados que presentaron mayor calidad (PM y PL) fueron los que de manera general presentaron la mejor respuesta por parte del animal además de que fueron los más rentables desde el punto de vista económico. Lo anterior confirma aun más

el efecto positivo ocasionado con la adición de pelets a base de subproductos de cervecería especialmente de levadura ya que para el caso de eficiencia económica el costo por kg de producto se reduce en más de seis pesos en relación a cuando no se utilizan productos peletizados.

## V CONCLUSIONES

Se obtuvieron tres nuevos productos alimenticios estables elaborados a base de ingredientes no convencionales con elevados niveles de digestibilidad. Las combinaciones de subproductos de cervecería que mejor calidad de pelet generan se basan en: 1) 20% de masilla; 2) 15% de levadura y 3) 18% de masilla y 5% de levadura. Sin embargo utilizar la tercera combinación reduce la calidad dentro de los límites aceptables para un alimento peletizado debido principalmente a que el alto contenido de humedad combinado de ambos subproductos reduce la durabilidad y por ende la estabilidad del pelet. Aun así utilizar pelets con esta combinación en la dieta de ovinos no reduce el comportamiento productivo en relación a dietas con ingredientes convencionales.

Por su parte pelets a base de masilla o levadura producen una mayor calidad del pelet, hecho que se fundamenta con una mayor estabilidad del producto durante el manejo y servicio al animal. Esto permite mejorar la respuesta del rumiante desde el punto de vista digestivo y productivo y reducir los costos por concepto de alimentación mejorando con esto la eficiencia económica cuando se utiliza al menos un 20 % de pelet a base de masilla o bien a base de levadura.

El procesado de subproductos agroindustriales mediante el peletizado 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.

## VI RESUMEN

A efecto de probar la hipótesis de que el uso de subproductos agroindustriales procesados mejora la eficiencia biológica en rumiantes, se elaboraron cuatro productos peletizados con diferentes niveles de masilla y levadura de cerveza: PM (20 % de masilla), PL (15% de levadura), PML (18% de masilla y 5% de levadura) y un producto peletizado base (PB) con 5% de masilla y 9% de levadura elaborado para evaluar el efecto del proceso de extrusión sobre la digestibilidad del alimento. Se realizaron tres experimentos: degradación *in vitro* (DIV), digestibilidad *in vivo* y prueba de comportamiento. Los niveles de DIV de los productos peletizados no fueron alterados durante los tiempos 0, 6, 24, 48, 72 y 96 horas ( $P>0.05$ ). Sin embargo la DIV fue menor ( $P<0.05$ ) para el PML durante el tiempo 12h, no obstante este efecto se invirtió al ajustar los resultados a distintas kp, observándose mayores niveles de degradación para con el PML para valores de kp de 0.04 a 0.09. Durante la digestibilidad *in vivo* los coeficientes de digestión de la FDN y del EE incrementaron cuando se adicionaron niveles de PB en base al concentrado de hasta 45 y 85% respectivamente ( $P<0.01$ ). Lo anterior provocó aumentos ( $P<0.01$ ) sobre la digestión global de la MS (68%) cuando el PB se usó hasta en un 65%. Los parámetros energéticos y los coeficientes de balance de nitrógeno no fueron alterados con la adición del PB ( $P>0.05$ ). Durante la prueba de comportamiento la GDP fue mayor ( $P<0.05$ ) para el PM y PL (370 y 400 g/d respectivamente) en comparación a la dieta testigo y al PML (270 y 250 g/d respectivamente). El CMS y la CA no fueron alterados ( $P>0.05$ ). Combinar masilla y levadura impacta positivamente las condiciones ruminales, sin embargo, esta combinación en un producto peletizado puede reducir la calidad del mismo si se utilizan niveles mayores al 20%. No obstante el PM y el PL pueden mejorar los parámetros ruminales y el perfil metabólico en suero sanguíneo con lo que

aumenta a su vez el rendimiento productivo y algunos parámetros de la canal (rendimiento y deposición de grasa). Utilizar cualquiera de los productos peletizados permite reducir los costos por concepto de alimentación por lo que representan una opción viable como ingrediente en la alimentación de ovinos.

## VI LITERATURA CITADA

- Aguilar, R.N., M.J. Canilazes. 2005. Resíduo lignocelulósico cervecero. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Veracruzanas. Nº. 168. p. 37-41
- Aguilera, J. I., R. G. Ramírez y C. F. Arechiga. 2007. Influence of wet brewers grains on rumen fermentation, digestión<sup>0</sup> and performance in growing lambs. *Journal of Animal Veterinary Advances* 6 (5): 641-645.
- Allen, M. S., D. R. Mertens. 1988. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *J Nutr* 1988; 118:261-270
- Álvarez, R. J. y M. Valdivie. 1980. Energía metabolizable y retención de nitrógeno en dietas con levadura torula para pollos de engorde. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 14:55.
- AOAC. 1997. *Official Methods of Analysis*. 16 th Ed. Ass. Off. Anal. Chem. Vol. 1. Washington, D.C., USA.
- ASAE. 2003. *Definitions and Methods for Determining Density, Durability, and Moisture Content*, ASAE Standards 2003, The Society of Engineering in Agriculture, St. Joseph, Michigan: 70-72.
- Bartikoski, R.G., 1962, *The Effect of Steam on Pellet Durability, Cost Reductions Through In-Plant Production Controls*, Midwest Feed Manufacturers' Association, Kansas City, Missouri: 42-47.
- Barton, H., A. R. Ness, and E. W, Crampton. 1996. Yeast vs linseed oil meal as a protein supplement for dairy cows in milk. *Tech. Bull.* 3, McDonald Coll., McGill Univ., St. Anne de Bellevue, QC, Canada.
- Behnke, K.C. 1990 (sin publicar). *An Evaluation of Wheat as a Pellet Quality Enhancer*, Kansas State University, Manhattan, Kansas. American soybean association. p 5-10.

- Behnke, K.C., 2001. *Factors Influencing Pellet Quality. FeedTech. Volume 5* Number 4. Reed Business Information, Agri-&Horticulture, Doetinchem, The Netherlands.
- Beltrán, M y A. Marcilla, 2001. Proceso de extrusión. En: Tecnología de polimeros. pp 106.
- Besong, J. A S., C. L., Hicks, and R. W. Hemken. 1996. Effects of a Supplemental Liquid Yeast Product on Feed Intake, Ruminal Profiles, and Yield, Composition, and Organoleptic Characteristics of Milk from Lactating Holstein Cows 1996 *J Dairy Sci* 79:1654-1668
- Bhatti S. A. y J. L. Firkins. 1995. Kinetics of Hydration and Functional Specific Gravity of Fibrous Feed By-Products. *J Anim Sci* 1995, 73:1449-1458.
- Bhenke, K. C. 2006. The art (science) of pelleting. In: Technical report series feed technology.
- 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.
- Brenttheurer, C. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- Brown, M.S., C. R. Krehbiel, G. C. Duff, M. L. Galyean, D. M. Hallford, and D. A. Walker 2000. Effect de degree of corn processing on urinary nitrogen composition, serum metabolite and insulin profiles, and performance by finishing steers. *J. Anim. Sci.* 78:2464-2474.
- 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.
- 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 Educación Continua en Producción Animal en México A.C. México, D.F.



- Church, D. C., W. G. Pond. 1994. Fundamentos de nutrición y alimentación de
- Church, D.C. 1993. El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed. Acriba S.A., Zaragoza, España, pp 652.
- Clark, J. L., H. B. Hedrick and G. B. Thompson. 1976. Determination of body composition of steers by 40K. *J Anim Sci* 1976. 42:352-356.
- Clavero, T., Romero, F., Razz, R. Rodríguez, A. 1997. Metabolismo del nitrógeno en ovinos suplementados con *Gliricidia sepium*. Rev. Científica. FCV-LUZ. Vol VII. Nº 2. 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.
- Colin-Schoellen, O., Jurjanz, S., Laurent, F. 1998. Nitrogen supply and fermentescible nitrogen deficit in total mixed ratio for dairy cows: Influence on milk yield and composition. *Rencontre Recherche Ruminants* 5: 222.
- Crickenberger, R.G. and B.H. Johnson. 1982. Effect of feeding wet brewers grains to beef heifers on wintering performance, serum selenium and reproductive
- Cruickshank, G. 2002. Gut microflora-the key to healthy broiler growing. *Poultry World*, July, p. 14.
- 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
- Drew, S. and D. Wang. 1985. The practice of Biotechnology: Current Commodity Products. Volume 3. Ed. Harvey W. Blanch,. Pergamon Press.
- Egaña, M. J. I. 2000. Efectos de diferentes procesamientos de los granos de cereales sobre su valor nutritivo para animales rumiantes. *Tecno Vet*: Año 6 Nº1.
- Escobar, A. J., R. Correa C. y H. Gómez D. 2010. Diseño conceptual de una máquina peletizadora de alimento para aves de corral para una producción de 1 tonelada diaria.. En: *Engormix, Balanceados y piensos en avicultura*. Universidad Nacional de Colombia.

- Ewing, D.L., Jhonson, D.E. y Rumpler, W.V. 1986. Corn particle passage and size reduction in the rumen of beef steers. *J. Anim. Sci.* 63:1509-1515.
- 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.
- Ferrario, J. D y M. A. Fernández. 2007. Estudio de características de carcasa por ultrasonido: medir para crear. *Rev. Braford, Bs. As.*, 23(58):72-75.
- 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.
- Galyean, M.L., Wagner, D.G. y R. R. Jhonson. 1976. Site y extent of starch digestion in steers fed processed corn rations. *J. Anim. Sci.* 43:1088-1101.
- Garciarena, A.C., C.C Hofer, A.R. Monje, M. Gomez. 1992. Efecto de la suplementación con malta húmeda sobre el ambiente ruminal y la dinámica de digestión. INTA. Concepción, Uruguay.
- 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*.
- Grasser, L. A., J.G. Fadel, I. Garnett y E. J. De Peters. 1995. Quantity and economic of nine selected byproducts used in California dairy rations. *J. Dairy Science*. Volume 78, (4) 962-971.
- 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.
- Grieve, D. G. 1979. Feed intake and growth of cattle fed liquid brewers' yeast. *Can. J. Anim. Sci.* 59:239.
- 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.
- Guerrero, R. A., J. M. Fuentes R., E. García M. y R. López, T. 2011. Subproductos de cervecería en la suplementación alimenticia de toretes charolais. Revista Agraria Nueva Época. Año VIII. Vol. 8. No 3.
- Hatch, C. F., T. W. Perry, M. T. Mohler and W. M. Beeson, 1972. Effect of corn distillers solubles and brewers dried grains with yeast in urea-containing Hejft, 2002
- Hoffer C.C., A.R. Monje y A.D. Garcarena. 1992. Evaluación de la malta húmeda en la dieta de terneros destetados Precozmente en Condiciones de Confinamiento. Memorias. Primer Congreso Uruguayo de Producción Animal. Montevideo (ROU). pp. 95-97
- 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.
- Huck, G.L., Kreikemeier, K.K., Kuhl, G.L., Eck T.P. y Bolsen, K.K. 1998. Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry rolled corn on growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. J. Anim. Sci. 76:2984-2990.
- INTA. 2002. Los subproductos agroindustriales en la alimentación de los rumiantes. Rivadavia 1439 (1033) Buenos Aires, Argentina
- Jackson, D. J., B.J. Rudeb, K.K. Karanja and N.C. Whitley. 2006. Technical note Utilization of poultry litter pellets in meat goat diets Small Ruminant Research 66. 278–281
- Jackson, D.J., B.J. Rude, K.K. Karanja and N.C. Whitley. 2006. Utilization of poultry litter pellets in meat goat diets. Small Ruminant Research. 278-281.

- John, N.M., Adeoye, G.O. and M.K.C. Sridhar. 1996. Compost pelletization eases end use in Nigeria. *Biocycle*. 37 : 55-56.
- Judkins, M. B., L. J. Krysl and R. K. Barton. 1990. Estimating diet digestibility: A comparison of 11 techniques across six different diets fed to rams. *J. Anim. Sci.* 68:1405 - 1415.
- Kamande G.M . 2006. Digestion ruminal y nutrición. Congreso de Forrajes. Producir XXI, Bs. As., 15(180):52-57.
- Kaske, M. and 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.
- Katnh, K., F. Sato, A. Yamazaki, Y. Sasaki, and T. Tsuda. 1988. Passage of indigestible particles of various specific gravities in sheep and goats. *Br. J. Nutr.* 60:683.
- Katnh, K., F. Sato, A. Yamazaki, Y. Sasaki, and T. Tsuda. 1988. Passage of indigestible particles of various specific gravities in sheep and goats. *Br. J. Nutr.* 60:683.
- Krause, V. E. 1973. Dehydrated alfalfa as a protein source in ruminant rations. Ph.D. Dissertation. University of Nebraska, Lincoln.
- Lara, S.R. 1976. Cuatro niveles de residuo de cervecería (masilla) en la engorda de becerros Holstein. Tesis Licenciatura. Facultad de Agronomía – UANL. Marín, Nuevo León. pp. 9-13, 21-33.
- MacBain, R. 1966. Pelleting Animal Feed, American Feed Manufacturers Association, Arlington, Virginia.
- Martin, S.A., 1984, Comparison of Hammermill and Roller mill Grinding and the Effect of Particle Size Reduction on Mixing and Pelleting, A Master's Thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- 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. *Poult. Sci.*, 83: 1165-1174.
- Mertens, D.R. 1987. Predicting Intake and Digestibility Using Mathematical Models of Ruminal Function. *J Anim Sci* 1987 64: 1548-1558.

- Miazzo, R.D. and S.Kraft. 1998. Yeast growth promoter for broilers. 10<sup>th</sup> European Poultry Conference. Rev. Arg. Prod. Animal 18 (Supl. 1):20-21, 1998.
- 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.
- Moritz, J. S. 2007. Impact of the pelleting process on dietary nutrients and supplemental enzymes. Pages 11–13 in Proc. Arkansas Nutr. Conf., Rogers, AR. The Poultry Federation of Arkansas (Little Rock, AR), Missouri (Jefferson City, MO), and Oklahoma (Oklahoma City, OK).
- Murphy, M. R., P. M. Kennedy, and J. G. Welch. 1989. Passage and rumination of inert particles varying in size and specific gravity as determined from analysis of faecal appearance using multicompartment models. Br. J. Nutr. 62:481.
- 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.
- Nathier-Dufour N., Sedman J. y van de Voort F.R. 1995. A rapid ATR/FTIR quality control method for the determination of fat and solids in sweetened condensed milk. *Milchwissenschaft* 50: 462-466.
- NRC (National Research Council). 1994. Nutrients Requeriments of Beef Cattle. 9<sup>th</sup> Rev. Edition. Nat. Acad. Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requeriments of dairy cattle: (7th Revised Edn.) pp17.
- 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. 2002. 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.
- Obidziński S. 2005. Granulating of plant material in granulator`s ring working system, PhD Thesis, Bialystok Technical University, pp. 50-54 (in Polish).

- Orskov, E.R. and McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *J. Agric. Sci.*, 92: 499-503.
- Palmquist, D.L. and T.C Jenkins. 1980. Fat in Lactation Rations: Review. *J. Dairy Sci.*, vol. 63, p. 1-14.
- Pérez, G. E., J. P. Cardoso y V. Gonzalez. 1975. Ecological constrains of anaerobic fermentation of cane molasses with rumen inocula. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola*.
- Perry, T.W. 1976. The feeding value of high-moisture grains for beef cattle. *High Moisture Grains Symp. Oklahoma State Univ., Stillwater*.
- Philippeau, C., C. Martin y B. Michalet-Doreau. 1999. Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:1587-1596
- Poppi, D.P.; Minson, D.J. y Ternouth, J.H. 1981. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 109.
- Preston, R. L., R. D. Vance and V. R. Cahill. 1973. Energy Evaluation of Brewers Grains for Growing and Finishing Cattle. *J Anim Sci.* 1973. 37:174-178.
- Preston, R. L., R. D. Vance and V. R. Cahill. 1973. Energy Evaluation of Brewers Grains for Growing and Finishing Cattle. *J Anim Sci.* 1973. 37:174-178.
- Reinold, M. R. 1997. *Manual practico de cervecería*. Aden Ed. Sao Pablo, Brazil, pp: 123.
- Rodríguez, S. D. 2006. El pellet. *Boletín Técnico. Producción Animal: Aves (UNAM)*.
- Rosero, N. R. y S. L. Posada O. 2007. Modeling of ruminant food degradation kinetics. *Rev Col Cienc Pec* 2007; 20:174-182.
- Rotger, C. A. 2004. *Fermentación Ruminal, Degradación Proteica y Sincronización Energia-Proteina en Terneras en Cebo Intensivo*. Departamento de Ciencia Animal. Universidad Autónoma de Barcelona. 36-45 pp.

- Russell, J R., Young A.W. y Jorgensen, N. A. 1981. Effect of dietary cornstarch intake on pancreatic amylase, intestinal maltase and pH in cattle. *J. Anim. Sci.* 52:1177-1196.
- SAGARPA. (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación). 2009. Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentación del ganado. Programa de apoyo al desarrollo rural. Consultado en:
- Satter, L. D. and L. W. Whitlow. 1977. Resistance of protein in brewers dried grains to microbial degradation in the rumen. *U.S. Brewers Assoc. Feed Conf. Proc. Distillers Feed Res. Conf.* 32, 63-72.
- 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.
- Siciliano-Jones, J., and M. R. Murphy. 1991. Specific gravity of various feedstuffs as affected by particle size and in vitro fermentation. *J. Dairy Sci.* 74:896.
- Sniffen, C. J., J.D. O'Connor , P.J. Van Soest, D. G. Fox and J. B Russell. 1992. A net carbohydrate and protein availability (CNCPS). *J. Animal. Sci.* 70:3562-3577.
- Solano, G., J. Ray, F. Garcia, A. Fonseca, R. Ayala y D. Benitez. 2011. Efecto de la alimentación con residuos de la agroindustria azucarera sobre algunos indicadores productivos de novillas mestizas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 12, núm. 7. pp. 1-7
- 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.

- Steckley, J. D., D. G. Grieve, G. K. Macleod, and E. T. Moran, Jr. 1979. Brewer's yeast slurry. I. Composition as affected by length of storage, temperature, and chemical treatment. *J. Dairy Sci.* 62:941.
- 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.
- 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, Manhattan, Kansas.
- Stone, C.1998. Yeast products in the feed industry. Ed. By Mills, D. Inc. Cedar Rapids, Iowa., p 10-11.
- Stone, C.1998. Yeast products in the feed industry. Ed. By Mills, D. Inc. Cedar Rapids, Iowa., p 10-11.
- Suppadit, T. 2004. Capitalizing on chicken litter. *Feed and Livest.* 1 : 24–25.
- Suppadit, T. and P. Pongsuk. 2010. Utilization of broiler litter pellets to substitute mixed feed pellets in fattening steers. *J. Issaas vol. 16, no. 1:55-67.*
- Suppadit, T. N. Sunthorn and L. Sangla. 2011. Evaluation of the nutritive values of quail litter for ruminants after pelleting.
- Suppadit, T., Kitikoon, V., Key, J.P., Chaicumpa, W., Pongpiachan, P. and S. Jaturasitha. 2002. Utilization of broiler litter as a source of crude protein for cattle II. Productive performance aspects. *Thai J Agric Sci.* 35 : 437-449.
- Suppadit, T., Parukatpichai, K. and N. Talakhun. 2008. Dietary quality and safety in the reuse of broiler litter as a feed ingredient through fermentation and pelleting. *J Appl Anim Res.* 33: 109-112.
- Sutherland, I W. 1987. Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. *Microbiology* 147. (2001) 3-9
- Sztern, D.; Pravia, M.A. 2001. Manual para la de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización panamericana de la salud. Organización mundial de la salud. San José Uruguay. 56p.



- 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.
- Tejada, I. 1992. *Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales*. México, DF.
- Thomas, M., T. van Vliet y A.F.B. van der Poel. 1998. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science Technology* 70 (1998) 59-78.
- 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.
- Thomas, P.C., Rook, J.A.F. 1977 Manipulation of rumen fermentation. *Recent advances in animal nutrition*. William, H. y Dyfed L. p 83-109.
- Torrescano, U. G. R., A. Sánchez E., M. G. Vásquez P., R. P. Pellatc y D. P. Guzmán. 2010. Characterization of bovine carcasses and meat from animals fattened in Central Sonora. *Rev Mex Cienc BOVINO Pecu* 2010;1(2):157-168.
- 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.
- Van Soest P J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- Walczyński S, Zawiślak K. 2000. Investigation into the quality of pellets in agglomeration process without addition of steam. *Biuletyn Naukowy Przem. Paszowego*, 1/4, 95-101 (in Polish).
- Walczyński S., The importance of pellet quality in animals feeding. 2004. *Pasze Przem.*, 10, 14-16 (in Polish).
- Wallace, R.J. 1996. Ruminant microbial metabolism of peptides and amino acids. *Journal of Nutrition* 126: 1326S-1334S.

- Wattiaux, M. A., D. R. Mertens, and L. D. Satter. 1992. Kinetics of hydration and effect of liquid uptake on specific gravity of small hay and silage particles. *J. Anim. Sci.* 70:3597.
- 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
- Westendorf, M.L. and J. E. Wohlt,. 2002. Brewing byproducts: their use as animal feeds. *Vet. Clin North. Am. Food. Anim. Practice.*, 18: 233-252.
- Yunker, R.S., S.D. Winland, J.L. Firkings and B.L. Hull. 1998. Efeccts of replacing forage fiber or non-fiber carbohydrates with dried brewers grains. *J. Dairy Sci.* 81: 2645:2656.
- Zavaleta, E. 2002. Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. *Ciencia Veterinaria.* 4: 189-192.
- Zimerman, M. 2009. Calidad de carne en pequeños rumiantes. INTA. Nº 53. Pp. 9:12.

## **APÉNDICE**

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBAS DE DEGRADACIÓN**

### **Análisis de regresión polinomial PM: DIV (%) vs. Tiempo (h)**

La ecuación de regresión es

$$\text{DIV (\%)} = 41.63 + 0.9050 \text{ Tiempo (h)} - 0.007270 \text{ Tiempo (h)**2}$$

S = 7.46109    R-cuad. = 76.8%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	2011.61	1005.80	18.07	0.000
Error	18	1002.02	55.67		
Total	20	3013.63			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	1235.36	13.20	0.002
Cuadrática	1	776.24	13.94	0.002

### **Análisis de regresión polinomial PL: DIV (%) vs. Tiempo (h)**

La ecuación de regresión es

$$\text{DIV (\%)} = 41.95 + 0.8818 \text{ Tiempo (h)} - 0.006797 \text{ Tiempo (h)**2}$$

S = 7.52931    R-cuad. = 77.8%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	2151.80	1075.90	18.98	0.000
Error	18	1020.43	56.69		
Total	20	3172.23			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	1473.39	16.48	0.001
Cuadrática	1	678.42	11.97	0.003

### **Análisis de regresión polinomial PML: DIV (%) vs. Tiempo (h)**

La ecuación de regresión es

$$\text{DIV (\%)} = 42.71 + 0.7382 \text{ Tiempo (h)} - 0.005691 \text{ Tiempo (h)**2}$$

S = 7.86162    R-cuad. = 67.5%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	1507.13	753.565	12.19	0.000
Error	18	1112.49	61.805		
Total	20	2619.62			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	1031.46	12.34	0.002
Cuadrática	1	475.67	7.70	0.013

### Análisis de regresión polinomial PB: DIV (%) vs. Tiempo (h)

La ecuación de regresión es

$$\text{DIV (\%)} = 39.60 + 1.057 \text{ Tiempo (h)} - 0.008530 \text{ Tiempo (h)**2}$$

S = 8.86428 R-cuad. = 75.7%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	2709.05	1354.53	17.24	0.000
Error	18	1414.36	78.58		
Total	20	4123.41			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	1640.46	12.55	0.002
Cuadrática	1	1068.60	13.60	0.002

### ANVA TIEMPO 0

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

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

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	69.21	69.21	23.07	0.95	0.462
Error	8	194.60	194.60	24.33		
Total	11	263.81				

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	32.2	A
1	3	30.8	A
2	3	30.5	A
4	3	25.9	A

### ANVA TIEMPO 6

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

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

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	26.04	26.04	8.68	0.44	0.729
Error	8	156.76	156.76	19.60		
Total	11	182.80				

### ANVA TIEMPO 12

#### Modelo lineal general: DIV (h) vs. T

Análisis de varianza para DIV (h), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	51.570	51.570	17.190	7.07	0.012
Error	8	19.439	19.439	2.430		
Total	11	71.008				

S = 1.55879 R-cuad. = 72.62%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
4	3	62.7	A
1	3	61.2	A
2	3	60.3	A B
3	3	57.1	B

### ANVA TIEMPO 24

#### Modelo lineal general: DIV (h) vs. T

Análisis de varianza para DIV (h), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	41.32	41.32	13.77	0.45	0.727
Error	8	247.45	247.45	30.93		
Total	11	288.77				

### ANVA TIEMPO 48

#### Modelo lineal general: DIV (h) vs. T

Análisis de varianza para DIV (h), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	35.692	35.692	11.897	3.32	0.078
Error	8	28.652	28.652	3.582		
Total	11	64.345				

S = 1.89249 R-cuad. = 75.47%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
4	3	65.3	A

2	3	65.1	A
1	3	63.6	A
3	3	61.0	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

### ANVA TIEMPO 72

#### Modelo lineal general: DIV (h) vs. T

Análisis de varianza para DIV (h), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	14.293	14.293	4.764	1.07	0.414
Error	8	35.594	35.594	4.449		
Total	11	49.887				

### ANVA TIEMPO 96

#### Modelo lineal general: DIV (h) vs. T

Análisis de varianza para DIV (h), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	21.77	21.77	7.26	0.37	0.778
Error	8	157.59	157.59	19.70		
Total	11	179.36				

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
2	3	66.9	A
4	3	66.5	A
1	3	64.9	A
3	3	63.5	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### ANÁLISIS TASAS DE FLUJO RUMINAL

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

#### Modelo lineal general: 0.01 vs. T

Análisis de varianza para 0.01, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	5.2200	5.2200	1.7400	2.12	0.176
Error	8	6.5600	6.5600	0.8200		
Total	11	11.7800				

S = 0.905539    R-cuad. = 44.31%    R-cuad.(ajustado) = 23.43%

#### Modelo lineal general: 0.02 vs. T

Análisis de varianza para 0.02, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	1.2400	1.2400	0.4133	1.24	0.357
Error	8	2.6667	2.6667	0.3333		
Total	11	3.9067				

### Modelo lineal general: 0.03 vs. T

Análisis de varianza para 0.03, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	2.8425	2.8425	0.9475	2.43	0.140
Error	8	3.1200	3.1200	0.3900		
Total	11	5.9625				

### Modelo lineal general: 0.04 vs. T

Análisis de varianza para 0.04, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	10.6200	10.6200	3.5400	60.69	0.000
Error	8	0.4667	0.4667	0.0583		
Total	11	11.0867				

S = 0.241523 R-cuad. = 95.79% R-cuad.(ajustado) = 94.21%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	56.6	A
2	3	55.3	B
1	3	54.4	C
4	3	54.2	C

### Modelo lineal general: 0.05 vs. T

Análisis de varianza para 0.05, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	11.6700	11.6700	3.8900	11.04	0.003
Error	8	2.8200	2.8200	0.3525		
Total	11	14.4900				

S = 0.593717 R-cuad. = 80.54% R-cuad.(ajustado) = 73.24%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	55.0	A
2	3	54.1	A B
1	3	53.1	B C

4 3 52.4 C

### Modelo lineal general: 0.06 vs. T

Análisis de varianza para 0.06, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	38.062		38.062	12.687	28.67	0.000
Error	8	3.540		3.540	0.443		
Total	11	41.602					

S = 0.665207 R-cuad. = 91.49% R-cuad.(ajustado) = 88.30%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	55.5	A
2	3	52.9	B
1	3	51.8	B C
4	3	50.7	C

### Modelo lineal general: 0.07 vs. T

Análisis de varianza para 0.07, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	58.590		58.590	19.530	279.00	0.000
Error	8	0.560		0.560	0.070		
Total	11	59.150					

S = 0.264575 R-cuad. = 99.05% R-cuad.(ajustado) = 98.70%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	55.1	A
2	3	51.8	B
1	3	50.6	C
4	3	49.1	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Modelo lineal general: D k=0.07 (%) vs. T

Análisis de varianza para D k=0.07 (%), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	36.330		36.330	12.110	11.37	0.003
Error	8	8.520		8.520	1.065		
Total	11	44.850					

S = 1.03199 R-cuad. = 81.00% R-cuad.(ajustado) = 73.88%



Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	54.7	A
2	3	52.1	A B
1	3	50.9	B
4	3	50.1	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Modelo lineal general: 0.08 vs. T

Análisis de varianza para 0.08, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	49.017	49.017	16.339	16.23	0.001
Error	8	8.053	8.053	1.007		
Total	11	57.070				

S = 1.00333 R-cuad. = 85.89% R-cuad.(ajustado) = 80.60%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	52.7	A
2	3	50.8	A
4	3	48.2	B
1	3	47.7	B

### Modelo lineal general: D K=0.09 (%) vs. T

Análisis de varianza para D K=0.09 (%), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	65.722	65.722	21.907	8.73	0.007
Error	8	20.080	20.080	2.510		
Total	11	85.802				

S = 1.58430 R-cuad. = 76.60% R-cuad.(ajustado) = 67.82%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	3	53.1	A
2	3	50.5	A B
1	3	48.3	B
4	3	46.9	B

### Modelo lineal general: 0.10 vs. T

Análisis de varianza para 0.10, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	14.670	14.670	4.890	3.86	0.056
Error	8	10.127	10.127	1.266		
Total	11	24.797				

### Modelo lineal general: 0.11 vs. T

Análisis de varianza para 0.11, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	15.503	15.503	5.168	0.86	0.499
Error	8	47.967	47.967	5.996		
Total	11	63.469				

### Modelo lineal general: 0.12 vs. T

Análisis de varianza para 0.12, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	7.94	7.94	2.65	0.22	0.881
Error	8	97.22	97.22	12.15		
Total	11	105.16				

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD IN VIVO

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

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: D MS % vs. T

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%

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

La ecuación de regresión es

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

$$S = 2.46222 \quad R\text{-cuad.} = 69.3\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 66.5\%$$

#### 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 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				

$$S = 2.94539 \quad R\text{-cuad.} = 65.32\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 60.00\%$$

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

#### 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				

$$S = 2.63433 \quad R\text{-cuad.} = 64.81\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 57.77\%$$

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

La ecuación de regresión es

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

$$S = 2.64484 \quad R\text{-cuad.} = 61.0\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 57.4\%$$

#### 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

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

### 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

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

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

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

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

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

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

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

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				

S = 0.645641 R-cuad. = 63.86% R-cuad.(ajustado) = 56.63%

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRIMERA ETAPA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO

### Modelo lineal general: CMS (kg/d) vs. T, B

Análisis de varianza para CMS (kg/d), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.15444	0.15444	0.05148	2.49	0.110
B	4	0.16082	0.16082	0.04021	1.94	0.168
Error	12	0.24838	0.24838	0.02070		
Total	19	0.56364				

S = 0.143869 R-cuad. = 55.93% R-cuad.(ajustado) = 30.23%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
2	5	1.1	A
3	5	1.1	A
4	5	0.9	A
1	5	0.9	A

### Modelo lineal general: GP (kg/d) vs. T, B

Análisis de varianza para GP (kg/d), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.076514	0.076514	0.025505	4.70	0.021
B	4	0.023361	0.023361	0.005840	1.08	0.410

Error	12	0.065065	0.065065	0.005422
Total	19	0.164940		

S = 0.0736346    R-cuad. = 60.55%    R-cuad. (ajustado) = 37.54%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	5	0.4	A
2	5	0.4	A B
1	5	0.3	A B
4	5	0.3	B

### Modelo lineal general: CA vs. T, B

Análisis de varianza para CA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	4.8021	4.8021	1.6007	1.93	0.179
B	4	7.2370	7.2370	1.8093	2.18	0.134
Error	12	9.9771	9.9771	0.8314		
Total	19	22.0163				

S = 0.911824    R-cuad. = 54.68%    R-cuad. (ajustado) = 28.25%

Observaciones inusuales de CA

EE de                      Residuo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
4	5	3.8	A
1	5	3.8	A
2	5	2.9	A
3	5	2.7	A

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO SEGUNDA ETAPA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO

### Modelo lineal general: CMS (kg/d) vs. T, B

Análisis de varianza para CMS (kg/d), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.10201	0.10201	0.03400	0.98	0.434
B	4	0.35020	0.35020	0.08755	2.52	0.096
Error	12	0.41614	0.41614	0.03468		
Total	19	0.86836				

S = 0.186222    R-cuad. = 52.08%    R-cuad. (ajustado) = 24.12%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	5	1.3	A
1	5	1.3	A
2	5	1.3	A
4	5	1.2	A



Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Modelo lineal general: GP (kg/d) vs. T, B

Análisis de varianza para GP (kg/d), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.01529	0.01529	0.00510	0.51	0.685
B	4	0.00280	0.00280	0.00070	0.07	0.990
Error	12	0.12058	0.12058	0.01005		
Total	19	0.13867				

S = 0.100241 R-cuad. = 13.04% R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	5	0.3	A
1	5	0.3	A
4	5	0.2	A
2	5	0.2	A

### Modelo lineal general: CA vs. T, B

Análisis de varianza para CA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.404	0.404	0.135	0.02	0.995
B	4	9.665	9.665	2.416	0.42	0.791
Error	12	68.944	68.944	5.745		
Total	19	79.013				

S = 2.39694 R-cuad. = 12.74% R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
4	5	5.6	A
2	5	5.6	A
1	5	5.3	A
3	5	5.3	A

### Análisis estadístico prueba completa

### Modelo lineal general: CMS (kg/d) vs. T, B

Análisis de varianza para CMS (kg/d), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.09244	0.09244	0.03081	1.35	0.304
B	4	0.24088	0.24088	0.06022	2.64	0.086
Error	12	0.27338	0.27338	0.02278		
Total	19	0.60670				

S = 0.150935 R-cuad. = 54.94% R-cuad.(ajustado) = 28.65%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
2	5	1.2	A
3	5	1.2	A
1	5	1.1	A
4	5	1.0	A

### Modelo lineal general: GP (kg/d) vs. T, B

Análisis de varianza para GP (kg/d), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.025788	0.025788	0.008596	3.74	0.042
B	4	0.006332	0.006332	0.001583	0.69	0.613
Error	12	0.027551	0.027551	0.002296		
Total	19	0.059671				

S = 0.0479158 R-cuad. = 53.83% R-cuad.(ajustado) = 26.90%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	5	0.4	A
2	5	0.3	A B
1	5	0.3	A B
4	5	0.3	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Modelo lineal general: CA vs. T, B

Análisis de varianza para CA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	1.4721	1.4721	0.4907	3.07	0.069
B	4	1.4209	1.4209	0.3552	2.22	0.128
Error	12	1.9170	1.9170	0.1598		
Total	19	4.8100				

S = 0.399690 R-cuad. = 60.14% R-cuad.(ajustado) = 36.90%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
4	5	4.0	A
1	5	3.9	A
2	5	3.8	A
3	5	3.3	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Concentraciones de ácidos grasos

Análisis de varianza para Acético (mM/l), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	108.493	108.493	36.164	6.70	0.004
Error	16	86.376	86.376	5.399		
Total	19	194.870				

S = 2.32347 R-cuad. = 55.67% R-cuad.(ajustado) = 47.36%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
2	5	24.8	A
3	5	24.3	A
1	5	20.0	B
4	5	19.8	B

Análisis de varianza para Propiónico (mM/l), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	12.6110	12.6110	4.2037	11.74	0.001
Error	16	5.7311	5.7311	0.3582		
Total	19	18.3421				

S = 0.598491 R-cuad. = 68.75% R-cuad.(ajustado) = 62.90%

Observaciones inusuales de Propiónico (mM/l)

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
3	5	7.3	A
2	5	7.0	A
1	5	5.7	B
4	5	5.4	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Modelo lineal general: Butírico (mM/l) vs. T

Análisis de varianza para Butírico (mM/l), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	14.4802	14.4802	4.8267	12.43	0.002
Error	16	6.2113	6.2113	0.3882		
Total	19	20.6915				

S = 0.623064 R-cuad. = 69.98% R-cuad.(ajustado) = 64.35%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
---	---	-------	------------

2	5	6.2	A
3	5	4.9	B
1	5	4.2	B
4	5	4.0	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Modelo lineal general: AGV Total (mM/l) vs. T

Análisis de varianza para AGV Total (mM/l), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	401.5	401.5	133.8	0.75	0.539
Error	16	2857.8	2857.8	178.6		
Total	19	3259.3				

S = 13.3647    R-cuad. = 12.32%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95.0%

T	N	Media	Agrupación
2	5	44.3	A
3	5	42.8	A
1	5	35.0	A
4	5	34.2	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Modelo lineal general: ac:pr vs. T

Análisis de varianza para ac:pr, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
T	3	0.5501	0.5501	0.1834	0.75	0.541
Error	16	3.9351	3.9351	0.2459		
Total	19	4.4851				

S = 0.495925    R-cuad. = 12.26%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%