

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Efecto de la adición de un producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales sobre la concentración de ácidos grasos volátiles en líquido ruminal en ovinos

POR:

JUAN ANTONIO NEGRETE BANDA

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Noviembre de 2012**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Efecto de la adición de un producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales sobre la concentración de ácidos grasos volátiles en ovinos

Tesis

Presentado por:

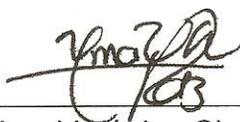
JUAN ANTONIO NEGRETE BANDA

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

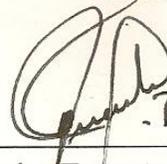
El presente trabajo ha sido evaluado y aprobado por el siguiente comité

Asesor Principal



Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Asesor



Dr. Jesús Fuentes Rodríguez

Asesor



M.C. Alberto Guerrero Rodríguez

Coordinador de la División de
Ciencia Animal



Dr. Ramiro Lopez Trujillo.

AGRADECIMIENTOS

A Cristo por darme la vida, por permitirme terminar esta meta de mi vida,

A mis padres Isidoro Negrete Leyva y a la Sra. Elpidia Banda Sánchez, por darme la oportunidad de estudiar e inculcarme valores fundamentales en mi vida, demostrándome con el ejemplo viviente que en la vida todo se puede confiando en Dios.

A mis hermanas Lorena Yazmín Negrete Banda, Rocio Negrete Banda y Genoveva Negrete Banda por su apoyo, por sus consejos que me han servido para emendar mi camino y seguir adelante.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por convertirse en mi segundo hogar durante tanto tiempo, donde pase experiencias inolvidables en mi vida de estudiante, gracias por darme la oportunidad de ser orgullosamente un BUITRE DE LA NARRO.

A mis asesores de tesis que depositaron su confianza en mí, por su colaboración y por compartir sus conocimientos para realizar este trabajo. Gracias Dra. Ana Verónica Charles, M.C. Albero Guerrero y Dr. Jesús Fuentes.

A la Sra. María de Jesús (Doña mila), por depositar su confianza en mí y por su apoyo desinteresado, que fue imprescindible para la culminación mí carrera, agradezco a Dios por haberla puesto en mi camino, por sus consejos e impulsarme a seguir adelante.

A el Ing. Manuel Burciaga Vera y sus colaboradores de trabajo Salvador Burciaga y Héctor (el Pipo), por inculcarme el amor nuestra ALMA MATER, por enseñarme a portar con orgullo la camiseta de la Narro y enfocarme siempre ayudar al prójimo, por sus conocimientos heredados en el ámbito agrícola, por tenerme paciencia y aún más por hacerme sentir como un hijo más de su familia.

A él M.C. Alberto Guerreo por depositar su confianza en mí y por su gran apoyo en este trabajo ya que fue parte fundamental para la culminación de este proyecto.

A mis profesores de especialidad que tuvieron la paciencia y comprensión para trasmitirme sus conocimientos, por el compromiso de formar profesionistas responsables y dedicados.

DEDICATORIA

A mis padres Isidoro Negrete Leyva y la Sra. Elpidia Banda Sánchez por sus sacrificios, por su confianza y por formarme como una persona de bien, por perdonarme mis errores, con este trabajo se refleja que si valió la pena la inversión de esfuerzo y trabajo, gracias por darme el privilegio de ser su hijo.

A mis hermanas Lorena Yazmín Negrete Banda, Genoveva Negrete Banda y en especial a Rocio Negrete Banda por apoyarme incondicionalmente para la culminación de esta etapa de mi vida, por tener ese gran corazón y depositar tu confianza en mí.

A mi esposa Cinthya Berenice Pawoli Gómez por compartir mi alegría, por soportar los tragos amargos y sacrificios que has hecho para que yo pudiera terminar esta etapa de mi vida, gracias por estar siempre a mi lado te amo y esto es para ti.

A mis hijos Rocio Tamara Negrete Pawoli, Andrés Clemente Negrete Pawoli y Antonia de Jesús Negrete Pawoli por soportar mi ausencia al iniciar mi carrera, esto para que sean felices y poderles dar una mejor vida, esto es por ustedes que fueron mi motor para que depositara el extra para realizar este trabajo y terminara mi carrera para estar junto a ustedes, este trabajo que es en honor a ustedes va incluido todo el esfuerzo y sacrificio que vivimos como familia, los amo y les pido perdón por haber perdido tiempo tan valioso, que aunque sé que no se va recuperar fue bien invertido, los Amo.

A mis suegros el Sr. Andrés Librado Cantabrana y la Sra. Alicia Gómez Guzmán por apoyarme con mi familia para poder terminar mi carrera, esto va dedicado a ustedes por tenerme la paciencia para poder concluir este proyecto, que sin su apoyo yo no estaría aquí, gracias que dios los bendiga.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se realizó una prueba de producción de ácidos grasos volátiles (AGV's) en la cual se utilizaron 5 ovinos machos de la raza Dorper con un peso promedio de 37 kg. La prueba de alimentación tuvo una duración total de 70 días, la cual estuvo dividida en cinco etapas que corresponden a la evaluación de cada tratamiento. Cada etapa tuvo una duración de 12 días, en las que siete días se destinaban para el periodo de adaptación y siete para el periodo de prueba. Todos los tratamientos evaluados presentaron una relación forraje:concentrado de 30:70. La inclusión de un producto peletizado en base al concentrado fue en niveles de: $T_1=0$; $T_2=25$; $T_3=50$; $T_4=75$; y $T_5=100\%$. La inclusión de diferentes niveles de pelet en la ración, produjo efectos significativos sobre la producción de AGV's. La proporción de ácido acético mostró diferencia significativa ($P<0.05$). De igual manera se presentó diferencia significativa para la concentración de ácido propiónico, butírico, ácidos grasos totales y pH ($P<0.05$). A través de esta investigación se determinó que, la inclusión del concentrado peletizado en dietas integrales para ovinos, aumento la producción de ácidos grasos volátiles, presentándose un rango óptimo de inclusión de alrededor del 50 a 75% en base al concentrado.

PALABRAS CLAVE

Subproductos, pH, pelet.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes -----	1
1.2 Justificación -----	1
1.3 Hipótesis -----	2
1.4 Objetivo General -----	2
1.5 Objetivos Específicos -----	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Fisiología digestiva de los rumiantes -----	4
2.1.1 Fisiología digestiva del lactante -----	5
2.1.1.1 Desarrollo de los divertículos estomacales -----	5
2.1.2 Fermentación ruminal -----	6
2.1.2.1 Población microbiana -----	7
2.1.2.2 Medio ambiente ruminal -----	8
2.1.2.3 Condiciones del medio retículo-ruminal -----	9
2.1.2.3.1 Ecosistema abierto y continuo -----	10
2.1.2.3.2 Aporte constante de sustratos -----	10
2.1.2.3.3 Tiempo de retención -----	10
2.1.2.3.4 Medio Acuoso -----	10
2.1.2.3.5 Anaerobiosis -----	11
2.1.2.3.6 Osmolaridad -----	11
2.1.2.3.7 Ph -----	11
2.1.2.3.8 Temperatura -----	11
2.1.3 Digestión ruminal -----	12
2.1.3.1 Metabolismo de Carbohidratos -----	12
2.1.3.1.1 Celulosa -----	13

2.1.3.1.2 Hemicelulosa -----	13
2.1.3.1.3 Pectina -----	14
2.1.3.1.4 Lignina -----	14
2.1.3.1.5 Almidón -----	15
2.1.3.2 Carbohidratos solubles -----	15
2.1.3.3 Metabolismos de los hidratos de carbono.-----	16
2.1.3.4 Suplementación con concentrados -----	19
2.1.3.4.1 Proteínas -----	20
2.1.3.5 Degradabilidad de la proteína en la dieta -----	23
2.1.3.5.1 Lípidos -----	24
2.1.3.6 Metabolismo de las grasas -----	26
2.1.3.7 Cambios de dieta -----	29
2.2 Producción de ácidos grasos volátiles_-----	30
2.2.1 Producción de ácido acético -----	30
2.2.1.1 Producción de ácido propiónico -----	31
2.2.1.2 Producción de ácido butírico -----	32
2.2.1.3 Factores que afectan la producción de ácidos grasos volátiles -----	32
2.2.1.4 Absorción de ácidos grasos volátiles -----	34
2.2.1.5 Utilización de los ácidos grasos volátiles -----	37
2.2.1.5.1 pH del rumen -----	40
2.2.1.5.2 Capacidad búffer -----	43
2.3 Peletizado de alimentos -----	43
2.3.1 Proceso de Peletización -----	44
2.3.2 Efecto del Peletizado sobre la calidad nutricional -----	46
3. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Descripción del área de estudio -----	49
3.2 Elaboración del producto peletizado -----	49

3.3 Análisis de muestras -----	50
3.4 Prueba de alimentación -----	51
3.5 Tratamientos -----	53
3.6 Instalaciones y equipo -----	53
3.7 Alimentación -----	54
3.8 Variables determinadas en el experimento -----	54
4. RESULTADOS Y DISCUSION -----	55
5. CONCLUSIÓN -----	63
6. LITERATURA CITADA -----	64
7. ANEXOS -----	73

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1. Curvas de titulación de los AGV y lactato -----	35
Figura 1.1.1. Mecanismo de Absorción de AGV por la pared del rumen ----- HAc = ácido asociado, Ac ⁻ = ácido disociado	36
Figura 1.1.2. Representación de una peletizadora simple y el tipo ----- de dado que utiliza.	46
Figura 1.1.3. Cinética de degradación ruminal de la cebada y el maíz -----	48
Cuadro 1. Proporciones de ingredientes utilizados en la elaboración del pelet -----	49
Cuadro 2. Caracterización nutricional de los tres principales componentes de la dieta –	40
Cuadro 3. Caracterización nutricional de los tratamientos utilizados durante la ----- la prueba de alimentación .	52
Cuadro 4. Ingredientes y cantidades utilizadas para cada tratamiento. -----	53
Cuadro 5. Concentración de ácidos grasos y pH en líquido ruminal de ovinos. ----- alimentados con diferentes niveles de pelet en base al concentrado.	55
Grafica 1.2. Comportamiento de la concentración de ácido acético en dietas ----- Con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.	56
Grafica 1.2.1. Comportamiento de la concentración de ácido propiónico en dietas ----- con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.	58
Grafica 1.2.2. Comportamiento de la concentración de ácido butírico en dietas ----- con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.	59
Grafica 1.2.3. Comportamiento del nivel del pH en líquido ruminal de ovinos -----	61

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

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

1.2 Justificación

La producción animal depende de factores exógenos (dieta, clima, etc.) y endógenos (aspectos fisiológicos y metabólicos). Los procesos que ocurren en el ambiente ruminal, generan más del 60 % de la energía (ácidos grasos volátiles: AGV) que el animal utilizará para mantenimiento y producción. Entre el 60 y el 80% de la proteína necesaria para el crecimiento y producción, es sintetizada en el rumen por los microorganismos (Santini, 1994). Por lo tanto, de la extensión y digestión de los distintos componentes del alimento a nivel ruminal, dependerá la futura producción animal (leche, carne, o lana). Motivo por el cual, en la medida en que se mejoren los procesos de la digestión de los alimentos, se mejorará sustancialmente la producción animal y con ella, la productividad del sistema ganadero (Blanco, 1999).

En este sentido el procesado de subproductos agroindustriales específicamente el peletizado puede llegar a representar una alternativa para mejorar los procesos digestivos en rumiantes principalmente a nivel ruminal. Además dicha situación puede impactar de forma positiva sobre el aspecto económico y ecológico ya que en el proceso se utilizan ingredientes alimenticios no convencionales que pueden reducir los costos de producción en las empresas ganaderas.

1.3 Hipótesis

El producto peletizado mejora la magnitud y rapidez de la fermentación de los carbohidratos y degradación de la proteína, promoviendo a su vez una mejora en la producción de ácidos grasos volátiles.

1.4 Objetivo General

Evaluar la concentración ruminal de ácidos grasos volátiles de un alimento peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales.

1.5 Objetivos específicos

- Formular un alimento para ganado ovino, incorporando subproductos agroindustriales de diversas industrias.
- Elaborar un producto estable a base de subproductos agroindustriales
- Evaluar la composición química del producto peletizado.
- Evaluar la concentración de ácido acético, propiónico y butírico y pH en ovinos alimentados con el producto peletizado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Fisiología digestiva de los rumiantes

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje. Esta característica se basa en la posibilidad de poder degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje, como celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestibles para las especies de estómago simple o no-rumiantes. Basada en esta diferencia fundamental, la fisiología digestiva del rumiante adquiere características particulares (Relling y Mattioli, 2003, Church, 1993).

La degradación del alimento se realiza mayoritariamente por digestión fermentativa y no por acción de enzimas digestivas, y los procesos fermentativos los realizan diferentes tipos de microorganismos a los que el rumiante aloja en sus divertículos estomacales (DE). Por esta razón tenemos que tener presente que al alimentar a los rumiantes primero estamos alimentando a los microorganismos ruminales, y que para su buen desarrollo tiene que haber un medio ruminal favorable para ello. De esta forma hay una simbiosis entre las bacterias y el animal (Relling y Mattioli, 2003).

Los rumiantes poseen el beneficio de tener una cámara fermentativa pregástrica, formada por tres compartimientos: el retículo, el rumen y el omaso. Estos compartimientos, también llamados preestómagos, se caracterizan por tener un epitelio no secretor, a diferencia de lo que es la cavidad gástrica propiamente dicha (el abomaso) cuya mucosa es secretora y cumple prácticamente las mismas

funciones que el estómago simple de los monogástricos. A pesar de que los pre-estómagos carecen de enzimas propias para degradar los alimentos ingeridos por el rumiante, es en esta cámara que se realiza la mayor parte de la digestión del alimento debido a la fermentación microbiana (principalmente por hidrólisis y oxidación anaeróbica) (Lier y Regueiro, 2008). Esta digestión fermentativa, si bien favorece al rumiante al permitirle degradar hidratos de carbono estructurales, también afecta la digestión de todos los demás componentes de la dieta, expuestos a los mismos procesos fermentativos, sin que esto represente siempre una ventaja desde el punto de vista del mejor aprovechamiento del alimento (Relling y Mattioli, 2003).

2.1 Fisiología digestiva del lactante

El ternero nace con su aparato digestivo adaptado a una dieta láctea, y por lo tanto, propia de un no-rumiante. Por esta razón los DE, no funcionales, son pequeños al nacimiento y el cierre de la gotera esofágica desvía la leche directamente al abomaso. La gotera esofágica es una estructura anatómica que conecta el esófago con el abomaso. Bajo condiciones normales de alimentación los DE se van desarrollando mientras se hacen funcionales (Relling y Mattioli, 2003).

2.1.1.1 Desarrollo de los divertículos estomacales

Entre el nacimiento y las tres semanas de vida. El animal es “lactante”, posee sólo capacidad de digerir leche y depende de la absorción intestinal de glucosa para mantener un valor de glucemia, que es semejante al de

un no rumiante (alrededor de 1 g/l). Entre las tres y las ocho semanas de vida, es un “período de transición” durante el cual el animal comienza a ingerir pequeñas cantidades de alimento sólido y se van desarrollando gradualmente los DE. Los valores de glucemia comienzan a disminuir mientras aumenta la concentración plasmática de ácidos grasos volátiles (AGV), especialmente acetato, propionato y butirato. A partir de las ocho semanas de vida, los DE están bien desarrollados y permiten una digestión fermentativa propia del “rumiante adulto” (Relling y Mattioli, 2003)

2.1.2 Fermentación ruminal

La fermentación ruminal es la actividad metabólica de los microorganismos (m.o.) presentes en el rumen, tiene aspectos que difieren de la digestión glandular propia de los animales monogástricos (como el cerdo). La digestión propia de la mayoría de los mamíferos ocurre en el estómago y el intestino delgado por enzimas producidas por el animal mismo, esto se denomina “digestión autoenzimática”.

En los rumiantes, la degradación de los sustratos moleculares por la acción de bacterias y otros m.o. se realiza por una hidrólisis enzimática igual que en la digestión glandular; la diferencia mayor es que las enzimas digestivas en la fermentación son de origen microbiano, por lo que se le denomina “digestión aloenzimática”, esta digestión fermentativa es más lenta y los sustratos son alterados en mayor grado que en la digestión glandular, además la fermentación ocurre en un medio anaerobio (Lier y Regueiro, 2008).

La digestión aloenzimática puede ocurrir en solo dos sitios del tracto gastrointestinal. Estos sitios son el ciego y/o colon por un lado y por otro lado en el retículo-rumen. En el primer caso se habla de fermentación cecocólica (o postgástrica) y en el segundo caso de fermentación pregástrica, la cual corresponde a los rumiantes (Lier y Regueiro, 2008).

2.1.2.1 Población microbiana

La población microbiana en el rumen es variable, predominando las bacterias y los protozoarios ciliados, pero pueden aparecer una cantidad considerable de levaduras. En general, y debido a las condiciones que prevalecen en el rumen, la mayor parte de los m.o. son anaerobios o anaerobios facultativos (Zavaleta, 2002).

Los protozoarios más comunes en el rumen pertenecen a los géneros: *isotriquia*, *dasitriquia*, *diplo dinio* y *entodinio* (Hungate, 1966).

Las bacterias representan la fracción de la población ruminal imprescindibles para la vida del rumiante. El neonato adquiere esta flora por el contacto directo con otros bovinos o bien por contacto indirecto a través de elementos contaminados como forrajes o agua de bebida.

Si bien existe una amplia variedad de bacterias y alternativas para clasificarlas, resulta útil agruparlas en base a los sustratos que emplean y a los productos finales de su fermentación (Relling y Mattioli, 2003):

Bacterias celulolíticas. Son las que producen celulosa, que es una enzima extracelular capaz de hidrolizar los enlaces beta de la celulosa, produciendo celobiosa. Algunas de ellas también aprovechan la celobiosa por la producción de celobiosa que a su vez libera glucosa.

Este tipo de bacterias se encuentran en concentraciones altas en el rumen alimentados con forrajes que contienen mucha fibra. Muchas de estas bacterias degradan el almidón.

Bacterias hemicelulolíticas. Son bacterias que son capaces de degradar a las hemicelulosas, liberando las pentosas, hexosas y ácidos urónicos, convirtiéndolos en glucosa o fructosa. Muchas de ellas son capaces de degradar además a la celulosa.

Bacterias amilolíticas. Éstas utilizan los almidones como sustrato, pues poseen un amilasa que hidroliza enlaces alfa 1-4 produciendo maltosa, que por acción de la maltasa se convierte en glucosa.

Bacterias proteolíticas. Producen enzimas hidrolíticas que rompen enlaces peptídicos, liberando péptidos y finalmente ácidos aminados.

Bacterias lipolíticas. Poseen esterases que hidrolizan a los triglicéridos, fosfolípidos y ésteres de ácidos grasos (Dehority, 1967).

2.1.2.2 Medio ambiente ruminal

El rumen ofrece un medio adecuado para el crecimiento bacteriano, ya que el pH varía generalmente entre 5.5 y 7.0 y la temperatura de 39° C, es muy cercana a la óptima para la mayoría de los sistemas enzimáticos. El alimento llega

al rumen en una forma más o menos constante y es mezclado por las contracciones de las paredes ruminales, lo que permite que los m.o. entren en contacto directo con el alimento recién ingerido o regurgitado y vuelto a masticar y humedecer (Church y Pnd, 1960).

La reinsalivación de los alimentos durante la rumia, en combinación con el agua que hay en el rumen, y las secreciones del mismo, proveen una humedad relativa favorable para muchos m.o. Además, los productos finales de las reacciones fermentativas son eliminados del medio, ya sea por absorción de la mucosa del retículo-rumen, o bien por el paso hacia los siguientes compartimentos, evitando de esta manera la saturación del medio y la consecuente inhibición del crecimiento bacteriano. Por lo tanto, se favorece el crecimiento de la misma llegando a producir una cantidad de protoplasma equivalente a 10% del líquido total del rumen (Warner, 1962).

2.1.2.3 Condiciones del medio retículo-ruminal

Para que se produzca una correcta fermentación bacteriana hay parámetros ruminales que deben considerarse, ya que fuera de sus rangos normales provocan alteraciones de la digestión. Las condiciones del medio ruminal deben estar en un rango compatible con el crecimiento de m.o. que sean adecuados para la fermentación (Lier y Regueiro, 2008).

2.1.2.3.1 Ecosistema abierto y continuo

Para que una población de m.o. pueda desarrollarse y mantenerse en un medio, este debe permitir una entrada continua de sustratos y también una salida permanente de desechos y de m.o. muertos.

2.1.2.3.2 Aporte constante de sustratos

Los m.o. necesitan nutrientes para poder desarrollarse, multiplicarse y mantenerse como población. Por lo tanto la ingesta que realiza el rumiante provee a los m.o. los sustratos para su sustento.

2.1.2.3.3 Tiempo de retención

Los procesos fermentativos son más lentos que la digestión tal como ocurre en el estómago e intestino delgado. Para que esa fermentación sea eficiente, el contenido ruminal debe ser retenido en el retículo-rumen tiempo suficiente para permitir la acción microbiana. La conformación del rumen, el diámetro pequeño del orificio retículo-ruminal, la función de selección del retículo y el ciclo motor del retículo-rumen garantizan un tiempo adecuado de retención.

2.1.2.3.4 Medio acuoso

Las reacciones bioquímicas se realizan en un medio acuoso. Gran parte de las enzimas bacterianas son extracelulares y actúan en el líquido ruminal.

2.1.2.3.5 Anaerobiosis

El ambiente ruminal es anaerobio. En presencia de oxígeno en lugar de obtener productos que se utilizan como fuente de energía disponible para el animal, como los ácidos grasos volátiles, obtendríamos CO₂ y H₂O.

2.1.2.3.6 Osmolaridad

La fermentación normal se lleva a cabo con una Osmolaridad entre 260 y 340 mOsm. Este parámetro se ve alterado tras la ingestión de concentrados (pudiendo llegar a 400 mOsm). Con alta osmolaridad se inhibe la digestión del almidón y fibra (por inhibición de las bacterias ruminales) y se altera la rumia.

2.1.2.3.7 pH

Puede variar entre 5.8 y 7.0. Luego de la ingesta de concentrados el pH baja considerablemente (por la rápida fermentación producida lo cual genera un medio ácido). Las bacterias celulolíticas se inhiben a pH menor de 6.0. A pH menor de 5.5 suelen ser anormales tanto la función ruminal como la del animal como consecuencia de la acidosis.

2.1.2.3.8 Temperatura

Debido a la enorme cantidad de procesos metabólicos que se producen en el rumen la temperatura suele ser 1 o 2 grados por encima de la temperatura corporal del animal (38 a 42 °C). Se pueden lograr descensos de la temperatura ruminal con ingesta de agua o forraje frío (Lier y Regueiro, 2008).

2.1.3 Digestión ruminal

La digestión ruminal es un proceso dinámico relacionado a la ingestión y deglución del alimento (ingesta) y la salida de líquido, bacterias y alimentos residuales no digeridos. La renovación del contenido ruminal tiene una gran influencia en la eficiencia de utilización del alimento, existiendo una relación inversa entre el índice de pasaje y la degradación del alimento (Kamande, 2006).

Los rumiantes poseen el beneficio de tener una cámara fermentativa pre-gástrica, formada por tres compartimientos: el retículo, el rumen y el omaso. Estos compartimientos, también llamados preestómagos, se caracterizan por tener un epitelio no secretor, a diferencia de lo que es la cavidad gástrica propiamente dicha (el abomaso) cuya mucosa es secretora y cumple prácticamente las mismas funciones que el estómago simple de los monogástricos.

A pesar de que los pre-estómagos carecen de enzimas propias para degradar los alimentos ingeridos por el rumiante, es en esta cámara que se realiza la mayor parte de la digestión del alimento debido a la fermentación microbiana (principalmente por hidrólisis y oxidación anaeróbica) (Lier y Regueiro, 2008).

2.1.3.1 Metabolismo de carbohidratos

Los carbohidratos se dividen en dos grandes grupos: estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina) y no estructurales (almidón, carbohidratos solubles, etcétera (Blanco, 1999).

2.1.3.1.1 Celulosa

Está constituida por microfibrillas cristalinas, lineares y de alto peso molecular, formando polímeros de moléculas de D-Glucosa, cuya digestibilidad puede ser muy alta (cerca del 90%) dependiendo de su grado de lignificación (Van Soest, 1982 y Beever, 1993). La disponibilidad de la celulosa para los organismos celulolíticos varía de acuerdo al nivel de lignificación y el ambiente ruminal generado por la dieta, siendo el rumen el principal sitio de digestión con un 80-85% de la cantidad degradada en todo el tracto. La celulosa digestible que puede ser fermentada en el ciego y colon varía de un mínimo de un 5% a un máximo de un 29% (Beever *et al.*, 1972) dependiendo del tipo de forraje, procesamiento, nivel de consumo, y tipo y nivel de suplementación. La fermentación de este compuesto químico lleva a la formación de ácidos grasos volátiles (AGV).

2.1.3.1.2 Hemicelulosa

Es otro componente de la pared celular del vegetal, está constituida por cadenas de xilano unidas a moléculas de glucosa, fructosa, galactosa y arabinosa. Este complejo químico no es soluble en agua y constituye entre el 30 al 40% del total de los hidratos de carbono totales (Dehorty, 1973). La degradación de la hemicelulosa por los m.o. del rumen varía con el tipo y estado de madurez del forraje, forma de conservación y nivel de consumo. La digestibilidad en rumen varía entre un 52 y un 84% y en ciego y colon entre 9 y 45% (Beever *et al.*, 1972).

2.1.3.1.3 Pectina

Representa menos del 10% de los constituyentes de la pared celular, es totalmente digestible, y está formada por cadenas ramificadas de ácido Galacturónico (Blanco, 1999).

2.1.3.1.4 Lignina

Es un polímero compuesto de unidades de fenil-propano de estructura muy compleja y de alto peso molecular. Es indigestible y altamente resistente a la mayoría de los agentes químicos. Su contenido aumenta con la edad del forraje y puede alcanzar el 15% de la materia seca (MS). Está altamente asociada a los componentes de la pared celular, como la celulosa, hemicelulosa y con ciertas proteínas. De su proporción dependerá la digestibilidad de la pared celular (Blanco, 1999).

Las leguminosas se caracterizan por tener mayor proporción de lignina que las gramíneas (Mayer, 1998). Los microorganismos que atacan la lignina son aeróbicos, siendo el ambiente ruminal eminentemente anaerobio. Por lo tanto la fermentación de la lignina es extremadamente baja, y su presencia constituye una especie de barrera física para la fermentación microbiana de la celulosa y hemicelulosa.

2.1.3.1.5 Almidón

Es el principal constituyente del endosperma de los granos, variando su proporción de acuerdo al tipo de grano y a otros factores intrínsecos de la planta. Químicamente está formado por dos tipos de polímeros, la amilosa y amilopectina. La primera constituye un 20-30% del almidón de los cereales, caracterizándose por tener una estructura amorfa, sin restricciones al paso del agua y a la amilasa. Es un polímero lineal de D-Glucosa con enlaces glucosídicos alfa 1-4. Mientras que la amilopectina, constituye el 70-80% del almidón de los granos, es un polímero ramificado, con cadenas lineales de unos 20-25 residuos de D-Glucosa en uniones alfa 1-4 y puntos de ramificación con enlaces alfa 1-6. Representa la porción cristalina resistente al paso del agua y al ataque enzimático (Kloster y Santini, 1995). El almidón puede ser degradado tanto a nivel ruminal transformándolo en AGV o en el intestino delgado por acción de las enzimas del animal, siendo el producto absorbido, glucosa. El sitio de digestión del almidón varía en función del tipo de almidón, proporción en la dieta, nivel de consumo, edad del animal, etc. (Armstrong y Smithard, 1979).

2.1.3.2 Carbohidratos solubles

Están integrados por azúcares simples, cuya degradabilidad a nivel ruminal es del 100%, generando AGV, con mayor proporción molar de propionato (Blanco, 1999).

2.1.3.3 Metabolismo de los hidratos de carbono

La degradación y fermentación de polisacáridos (hidratos de carbono complejos) en el rumen ocurre esencialmente en tres pasos:

- Fijación de los m.o. a las partículas del forraje, provocando la disociación de los hidratos de carbono de la estructura de la matriz celular.
- Hidrólisis de los polisacáridos liberados, a sacáridos
- Fermentación intracelular de los sacáridos, obteniéndose AGV. De la fermentación intracelular de las hexosas y pentosas se obtienen principalmente piruvato y fosfoenolpiruvato. Sobre los que actúan los m.o. y los transforman en distintos productos finales de la fermentación ruminal a través de distintas vías metabólicas (Leng, 1973).

El etanol, succinato, y lactato son catabolizados a productos finales: acético, propiónico y butírico por las distintas especies de m.o. (Santini, 1994). El ácido acético es transportado desde el rumen por el torrente circulatorio e incorporado directamente al protoplasma celular. Su utilización puede orientarse posteriormente ya sea hacia la obtención de energía vía acetyl-CoA y ciclo de Krebs, o bien a la síntesis de grasas.

La digestión ruminal del almidón, genera una alta producción de AGV, destacándose el propionato cuya proporción molar aumenta con respecto a la fermentación ruminal del forraje fibroso, donde se genera una mayor proporción

molar de acetato. El propionato se absorbe por las paredes del rumen (más del 80%) llegando al hígado, donde a través de un proceso metabólico (gluconeogénesis) se transforma en glucosa. Mientras que el acetato y butirato generan ATP en rumen: ciclo cítrico (Blanco, 1999).

La digestibilidad del almidón en el total del tracto, es superior al 80%, variando de acuerdo al tipo de grano, y al consumo (MS/día), la proporción que se degrada en rumen y la que llega intacta al duodeno. La digestibilidad del almidón varía en orden creciente a partir del maíz, sorgo, cebada, trigo y avena. Por lo tanto la cantidad de almidón que llega al intestino delgado es mayor para maíz y sorgo: 30-40% (Mayer, 1998). A partir de un sustrato se obtienen ácidos grasos volátiles, metano y hay una pérdida de energía en forma de calor de fermentación. Durante la formación de los AGV se liberan diferentes cantidades de H₂, gas que en unión con el CO₂, da origen a la molécula de metano. Este al abandonar el rumen constituye una pérdida adicional de 18% de la energía inicial del sustrato, o sea una pérdida de energía digestible. La energía contenida en los carbohidratos de alimentos concentrados (alta producción de ácido propiónico) es mejor aprovechada en el metabolismo ruminal, que aquella contenida en alimentos fibrosos (alta producción de ácido acético). Si bien el rumiante puede aprovechar la celulosa gracias a la fermentación ruminal, el proceso lleva aparejado una considerable pérdida de energía (Kaufmann, 1976).

Los AGV además de ser una fuente de energía para el rumiante, constituyen importantes productos iniciales en la síntesis de diferentes compuestos orgánicos en el metabolismo intermedio. Por ejemplo al ácido acético le corresponde un papel primordial en la síntesis de la grasa de la leche, siendo relativamente reducidas las fracciones destinadas a la formación de la caseína y lactosa. En cambio, el ácido propiónico, es el responsable en primer término de la síntesis de la lactosa. El ácido butírico no muestra carácter específico, siendo utilizado en la síntesis de los tres principales componentes de la leche. Para obtener en la leche un porcentaje graso fisiológicamente normal (superior al 3%) se necesita una relación ácido acético-ácido propiónico de por lo menos 3:1. Esta relación se obtiene cuando el contenido de fibra bruta constituye alrededor de un 20% de la materia seca de la ración. Para engorda de animales, y para obtener buenos aumentos de peso diario, la relación molar entre el ácido acético y el propiónico es más estrecha, con una mayor concentración relativa del segundo. Esto se logra con un menor contenido de fibra bruta, lo que permitiría la incorporación de concentrados a la ración (Blanco, 1999).

Cuando se agrega a la ración más de un 30% de carbohidratos (ej. granos) se puede producir una depresión en la digestibilidad de la fibra (Rearte y Santini, 1989) generando una producción anormal de ácidos grasos insaturados (AGI) en la grasa de cobertura del animal, desmejorando el aspecto de la res (Mayer, 1998). La glucosa absorbida en el duodeno, por hidrólisis del almidón o sintetizada en el hígado, es transportada por el plasma sanguíneo a los tejidos del cuerpo. Allí

se utiliza como fuente de energía y como precursor de compuestos carbonatados. Al aumentar los niveles de glucosa en sangre se estimularía la liberación de insulina (páncreas), esta hormona tiene propiedades lipogénicas, por lo tanto influye sobre la terminación del animal (Blanco, 1999).

2.1.3.4 Suplementación con concentrados

La provisión de concentrados a animales en pasturas no limitadas en disponibilidad está asociada a una disminución en el consumo del forraje. Y parece ser más manifiesto en forrajes de alta calidad. La sustitución deja un remanente de forraje para lo cual es necesario ajustar la carga animal, para obtener mayor beneficio con el uso de suplementos (Blanco, 1999).

En contraste al efecto directo de proveer energía para el animal, la adición de almidón al forraje podría tener efectos asociativos adversos sobre la dieta basal. La digestibilidad de la fibra (celulosa, hemicelulosa) y proteína podría decrecer, como también la población bacteriana. Los resultados son variables y dependen del tiempo de adaptación que los animales tengan a la nueva dieta, y de la cantidad de concentrado suplementado. Pasturas con altos contenidos proteicos pero con bajas concentraciones de carbohidratos solubles son alimentos desbalanceados para el animal. La proteína se degrada en el rumen y el amoníaco no será aprovechado por no contar las bacterias con la energía requerida. Esta situación se da generalmente en los sistemas de invernada en determinadas

épocas del año (Elizalde y Santini, 1992). Ya son conocidas las bajas ganancias de peso en otoño. La suplementación con concentrados energéticos permite no solamente aumentar el suministro de nutrientes al animal, sino que permite también balancear energéticamente a las dietas pastoriles. Los efectos de la suplementación dependerán de la cantidad ofrecida y del balanceado empleado. El suministro de concentrados en niveles que no superen el 40% de la dieta total consumida, no afectará el ambiente ruminal, aunque proveerá de energía que las bacterias utilizarán para un mejor aprovechamiento del amoníaco ruminal (Rearte, 1989). Cantidades mayores de suplementación provocarán mayor sustitución sobre la pastura consumida, afectándose el ambiente ruminal, con consecuencias negativas sobre la digestibilidad del forraje y el consumo de este. El suministro de grano en altas cantidades sólo será factible con una correcta y programada adaptación de los animales, y los descensos de pH originados podrán ser corregidos con sustancias buffer (Rearte y Elizalde 1994).

2.1.3.4.1 Proteínas

Los componentes nitrogenados del alimento se dividen en:

- Proteína dietaria verdadera (PDV): degradable y no degradable en el rumen
- Nitrógeno no proteico (NNP).

La proporción de ambas depende de factores propios del alimento, del consumo, de la extensión de la digestión y de factores exógenos, como el calor, la presión, el molido, químicos, etc. El 80% de las proteínas del maíz, cebada y trigo son glutelinas y prolaminas, ambas insolubles en el líquido ruminal, mientras que en la avena, el 80% es globulina, que es soluble en dicho licor (Mayer, 1998).

Solo una parte de las proteínas del alimento alcanza el intestino sin ser degradada. El resto sufre un proceso de lisis bacteriana, generalmente de tipo desaminativo, a través del cual las proteínas son transformadas en amoníaco y ácidos grasos. En menor grado se detectan también CO_2 y amidas. El amoníaco puede ser utilizado como fuente de nitrógeno por las bacterias, que quedan en condiciones de sintetizar proteínas bacterianas. Luego son arrastradas por la ingesta, y estas bacterias alcanzan el intestino y son allí digeridas, constituyendo una fuente proteica para el rumiante. Las bacterias para realizar la síntesis de proteínas requieren fuentes nitrogenadas tales como: N-amoniacal, péptidos y aminoácidos. La eficiencia de captación del N-amoniacal dependerá de la energía disponible. La proteína bacteriana es de alta uniformidad, se mantiene constante independientemente del régimen alimenticio a que esté sometido el animal. El amoníaco que no es utilizado por las bacterias ingresa a través de las paredes ruminales al torrente sanguíneo. En el hígado es transformado en urea, perdiendo su carácter tóxico. La urea constituye también el producto final del metabolismo de las proteínas en el organismo, y en monogástricos es excretada como producto catabólico especialmente por la orina. En el rumiante una parte de esa urea puede

retornar al rumen, ya sea directamente a través de la pared ruminal o bien con la saliva (Mayer, 1998).

La urea es seguidamente hidrolizada por la flora ureolítica del rumen y transformada de este modo en amoníaco y CO₂. El amoníaco así originado, constituye una fuente adicional de nitrógeno de carácter endógeno. La capacidad de los microorganismos ruminales de sintetizar proteínas a partir de nitrógeno amoniacal permite la incorporación de nitrógeno no proteico (ej. urea) en la ración como sustituto parcial de las proteínas. De lo anteriormente mencionado, se desprende que el rumiante cuenta con dos fuentes de abastecimiento proteico: las proteínas que alcanzan el duodeno sin ser degradadas y la otra la proteína proveniente de la flora microbiana del rumen. Otras fuentes de proteínas de menor importancia son las proteínas protozoarias y proteínas contenidas en las secreciones digestivas. Los animales en crecimiento y las vacas lecheras tienen altos requerimientos proteicos, y su producción depende en cierta medida de la cantidad de proteína de la dieta que pase el rumen sin degradarse, y de la proteína microbiana. Esta última de alto valor biológico (+60%) está constituida por un perfil de AA muy completo pero con baja proporción de algunos que son limitantes para la producción de carne y leche, como son: la metionina, treonina y la lisina (Mayer, 1998).

2.1.3.5 Degradabilidad de la proteína en la dieta

Las proteínas de la dieta pueden ser degradadas y fermentadas en el rumen. El grado de digestión varía marcadamente en los forrajes frescos de acuerdo al estado vegetativo y a la época del año. Los verdes tiernos y pasturas en pleno estado vegetativo, especialmente en el otoño e invierno, se caracterizan por tener un alto contenido de NNP y proteínas muy degradables en el rumen (solubles). El porcentaje de NNP y la degradabilidad ruminal de la proteína dietaria se reduce a medida que aumenta el grado de madurez. No toda la proteína consumida puede llegar al intestino. Si el contenido proteico es elevado, gran parte del N se perderá en el rumen en forma de NH_3 . Las dietas hiperproteicas pueden tener un efecto negativo en la ganancia de peso y en la retención de grasa.

El aumento del nivel de amoníaco en rumen, puede afectar negativamente la liberación de insulina y el metabolismo de la glucosa (Blanco, 1999). La energía es el primer factor que limita el crecimiento microbiano, y la eficiente utilización de esa energía para la producción de proteína es de suma importancia. La síntesis de proteína microbiana requiere un adecuado suministro de nitrógeno para alcanzar una máxima eficiencia. Si el nivel de N es excesivo la energía puede tornarse limitante para una eficiente utilización de N. El N y la energía deben estar balanceados (Stern y Hoover, 1978).

2.1.3.5.1 Lípidos

En general los forrajes contienen sólo 2-5% de lípidos en su MS, y sólo un 50% de esos lípidos está bajo la forma de ácidos grasos, con altos porcentajes de ácidos linoleíco y linolénico. La composición de lípidos de los forrajes es muy variada incluyendo lípidos simples, fosfolípidos, galactolípidos y pigmentos. El porcentaje de ácidos grasos de los forrajes verdes puede alcanzar un 3% de la MS en el caso de pastos tiernos, observándose valores mínimos (0.5% de la MS) en espigazón y en pleno verano. El ensilaje de pasturas presenta un patrón similar al de los forrajes frescos (Chalupa *et al.*, 1984).

El porcentaje de ácidos grasos en los ensilajes de maíz está comprendido entre el 1-2% de la MS. Los granos oleaginosos (colza, soja, girasol) son ricos en lípidos (20-40% de la MS), con elevado contenido de triglicéridos (99%). La mayoría de las tortas (subproductos de la extracción del aceite) contienen menos de un 3% de lípidos de los cuales un 60% son triglicéridos. El contenido de lípidos de los granos de cereales varía entre 2.1% (trigo) a 7.1% (avena). El glicerol y los ácidos grasos de menos de 10 carbonos, son rápidamente absorbidos por transporte pasivo en el duodeno, en cambio los ácidos grasos libres (>10 carbonos), el colesterol y los B-monoglicéridos se combinan con las sales biliares conjugadas para formar una micela, que se absorbería en el íleon. Se considera que no existe un gasto de mantenimiento específico a ser cubierto por los ácidos grasos de cadena larga ya que los requerimientos de energía pueden ser

satisfechos por diversos nutrientes aunque con diferentes eficiencias. La producción de grasa butirosa es la única función productiva que representa un gasto específico de ácidos grasos. La lactancia impone pues un requerimiento dietético específico en ácidos grasos, el cual es difícil de cuantificar. Algunos autores han propuesto niveles de ingestión de ácidos grasos considerados óptimos para vacas en lactancia (Chalupa *et al.*, 1984).

Así, Kronfeld (1976) sugirió que un 16% de la energía metabolizable aportada como ácidos grasos permitiría una máxima eficiencia de utilización de la energía metabolizable para lactación. El aporte de concentrados (granos de cereales) a una dieta basada en forraje aumenta el valor energético de la misma, pero podría afectar el ambiente ruminal considerado óptimo para la actividad de los m.o. celulolíticos, la digestión de la fibra del forraje y la síntesis de grasa butirosa.

Existen diversas técnicas industriales de protección de los lípidos para disminuir los riesgos de perturbación de las fermentaciones ruminales: a) lípidos protegidos: consiste en encapsular partículas lipídicas con proteínas tratadas con formaldehído (Chalupa *et al.*, 1984).

El proceso se aplica a grasas animales ricas en ácidos grasos saturados y a los aceites vegetales ricos en ácidos grasos insaturados (Scott *et al.*, 1970, Fogerty and Johnson 1980) b) adsorción de las grasas sobre un soporte inerte como la vermiculita y/o bentonita (Hawkins *et al.*, 1984) c) cristalización en frío de ácidos grasos (fat prills) o grasas saturadas (Banks *et al.* 1984) d) aporte de ácidos grasos de cadena larga bajo la forma de sales de calcio inertes respecto a la flora microbiana. Actualmente es la fuente de lípidos más utilizada en la suplementación de vacas lecheras. No produce un efecto negativo sobre la digestión de la pared celular del forraje, aún con dietas ricas en almidón. (Chalupa *et al.*, 1984).

2.1.3.6 Metabolismo de las grasas

La grasa que forma parte de la ración de los rumiantes, sufre antes de ser absorbida en el intestino, modificaciones derivadas del proceso fermentativo. Las grasas sufren un proceso de hidrólisis en el rumen, del cual son responsables las lipasas producidas por algunas especies de bacterias ruminales. Tras el proceso de hidrólisis, los ácidos grasos insaturados son en parte sometidos a una hidrogenación en el rumen. Como resultado de esta hidrogenación, la proporción de ácidos grasos insaturados que fluyen posteriormente al intestino para su absorción es significativamente inferior a la que originalmente presentaba el alimento. El grado de hidrogenación en el rumen se encuentra influenciado por el pH, siendo mayor a pH altos, y viceversa (Gagliostro, 1994).

Los ácidos grasos insaturados, a causa de su tensión superficial, pueden alterar la permeabilidad de las células bacterianas, produciendo una inhibición del proceso fermentativo del rumen.

- De una hidrogenación ruminal ineficiente pueden presentarse en animales jóvenes distrofias musculares, como consecuencia de una deficiencia de vitamina E.
- Productos secundarios del proceso de reducción en el rumen, son ácidos grasos de cadena ramificada, como también isómeros, que pueden posteriormente detectarse en la leche.
- Estos isómeros son en parte responsables del olor y sabor de algunos productos lácteos (ej. olor de la crema de leche).

El metabolismo de los lípidos está principalmente afectado por la insulina y las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina). Los efectos lipogénicos y antilipolíticos de la insulina estarían a nivel de captación del acetato (principal precursor para la síntesis de ácidos grasos) y de glucosa. La insulina promueve la ganancia de peso (mayor captación de nutrientes por los tejidos: muscular y adiposo), cuando desciende los nutrientes circulan desde los tejidos hacia el hígado (producción de glucosa). El glucagón y las catecolaminas aseguran una rápida movilización de reservas (glucógeno, lípidos, glicerol, proteínas). La

hormona del crecimiento y las somatomedinas inducen el catabolismo de los lípidos (Gagliostro, 1994).

Se ha comprobado en ovinos y bovinos que el total de ácidos grasos en el duodeno puede superar la cantidad ingerida en el alimento. Este aumento se debe a las grasas de origen microorgánico, que son sintetizadas en el rumen a partir de los carbohidratos. Los cuerpos celulares de las bacterias y protozoos contienen cantidades variables de ácidos grasos, además de otros tipos de lípidos, que según mediciones efectuadas en vacunos adultos, fluctúan entre 50 y 150g diarios (Blanco, 1999).

Estas grasas de origen microbiano contienen una importante proporción de ácidos grasos ramificados. A pesar de las transformaciones que las grasas sufren en el rumen, hay relación entre el tipo de grasa ingerida y la composición de la grasa de la leche del rumiante. Ácidos grasos saturados de hasta 16 carbonos son sintetizados en la glándula mamaria a partir de los ácidos grasos volátiles, originados en el rumen. A partir del acético es sintetizado alrededor del 35-50% de la grasa de la leche. Otro 20% de los ácidos grasos proviene del tejido adiposo del organismo, en particular del ácido oleico. El resto proviene de los ácidos grasos de cadena larga del alimento. Los alimentos ricos en ácidos grasos insaturados (AGI), como por ejemplo: forrajes verdes, lino, soja, maíz, etc., determinan una grasa en la leche de consistencia blanda. Otros con baja proporción de AGI forman en la

leche una grasa de consistencia dura. Igual efecto tienen aquellos alimentos con alto contenido de fibra bruta, tales como heno, paja, pradera endurecida etc., en los cuales la producción de ácido acético en el rumen es mayor (Blanco, 1999).

2.1.3.7 Cambios de dieta

Una dieta puede estar constituida por uno o varios alimentos. En los sistemas extensivos una pastura o pastizal es el único componente; a medida que los sistemas se intensifican se agregan elementos a las dietas. Esto implica un acostumbramiento del animal y del rumen a estos alimentos. Cuando ocurren cambios en la alimentación, suele conducir a una disminución del consumo ya que se producen modificaciones en el número y tipo de bacterias y protozoarios en el rumen. Todo cambio en la dieta requiere un período de acostumbramiento del animal y del rumen a esa nueva dieta. Cuando este periodo no se cumple porque los componentes de la dieta se modifican abruptamente, están mal balanceados o son mal suministrados, ocasionan desórdenes en el metabolismo y fermentación. Están ampliamente aceptados períodos de acostumbramiento que varían entre 7 y 14 días para el rumen, existiendo también un período de adaptación a nivel enzimático y hormonal que requiere de otros 4 a 7 días, una vez estabilizado el rumen. Por lo que el período total de acostumbramiento varía entre los 11 y 21 días (Blanco, 1999).

2.2 Producción de ácidos grasos volátiles

Cuando los hidratos de carbono, tanto estructurales (fibra detergente neutro) y no estructurales (azúcares y almidones), experimentan la fermentación microbiana, producen ácidos grasos volátiles (AGV). Los principales AGV en orden descendiente de abundancia son acético, propiónico, butírico, isobutírico, valérico, isovalérico, y rastros de varios otros ácidos. Los AGV pueden proporcionar hasta un 80 por ciento de las necesidades energéticas del animal (Ishler y Varga, 2009). Sin embargo, los que resultan más importantes son el ácido acético, el propiónico y el butírico, entre los ácidos grasos volátiles, además del láctico, el succínico y el butírico, el etanol, el metano, CO₂, hidrógeno y ácido sulfhídrico. Todos ellos se obtienen a partir de la glucosa o fructosa que se liberan de los distintos carbohidratos y que fermenten las bacterias siguiendo la vía catabólica de la glucólisis.

Durante la fermentación en el rumen, los ácidos grasos que se producen sufren procesos de interconversión, lo cual puede explicarse tomando en cuenta que un ácido determinado, que es producto final de la actividad de algunos m.o., es utilizado a su vez como sustrato para la actividad de otros (Weston y Hogan, 1968).

2.2.1 Producción de ácido acético

El ácido acético puede constituir entre un 50 y un 60 por ciento del total de AGV. Predomina en una dieta alta en forraje. El acetato es utilizado para la síntesis de ácidos grasos y es el principal precursor de la lipogénesis en el tejido

adiposo. Parte del acetato se utiliza también para el metabolismo muscular y la grasa corporal. La producción de niveles adecuados en el rumen es esencial para mantener cantidades apropiadas de materia grasa en la leche (Ishler y Varga, 2009).

Las reacciones que predominan en la producción de este ácido y lo mismo del butírico, son reacciones fosfoclasticas, en las que el ácido pirúvico es convertido en fosfato de acetilo y ácido fórmico o hidrógeno y CO₂. Los hidrógenos que se desprenden en el proceso oxidativo son utilizados de distintas maneras según las bacterias que realicen la fermentación, los *Clostridios* transfieren los electrones liberados a protones que se separan como hidrogeno molecular, otras los transfieren al CO₂ produciendo ácido fórmico y otras más los utilizan para hidrogenar ácidos grasos (Zavaleta, 2002).

2.2.1.1 Producción de ácido propiónico

El ácido propiónico es producido en el rumen a partir del ácido pirúvico o del láctico siguiendo dos vías diferentes, aun cuando las dos son funcionales, una de ellas es la predominante y se lleva a cabo con la formación de oxaloacetato y succinato. La segunda vía requiere de la formación de acrilato y se presenta en el rumen de animales en los que la ración alimenticia es deficiente en azufre, quizá debido a un cambio en la población bacteriana, o bien cuando es a base de granos (Whanger y Matrone, 1967; Wallnofer *et al.*, 1967).

2.2.1.2 Producción de ácido butírico

En el rumen se puede sintetizar este ácido a partir del acético o de sustancias capaces de formar Acetil-CoA, como El ácido pirúvico (Barker, 1961). El ácido butírico proporciona energía a la pared del rumen y constituye de un 12 a 18 por ciento del total de AGV. En gran parte es convertido a cetonas durante la absorción a través del epitelio ruminal (Ishler y Varga, 2009).

2.2.1.3 Factores que afectan la producción de ácidos grasos volátiles

En el rumen, la producción de los ácidos grasos volátiles depende de la composición de la dieta, la actividad microbiana, el pH del medio y la frecuencia de ingestión de los alimentos. En general, las dietas a base de forrajes producen menos cantidad de ácidos grasos volátiles, en contraposición con aquella a base de concentrados de alto contenido de proteínas o de carbohidratos fácilmente fermentables. La producción de ácidos grasos volátiles disminuye conforme aumenta el pH del rumen. La cantidad de ácidos grasos volátiles presentes en el líquido ruminal en un momento dado depende, además de los factores anteriores, de la absorción de los ácidos a través de la pared del rumen, o de su paso a los otros compartimentos (Zavaleta, 2002).

La proporción molar de ácido acético es elevada, entre 60-75%, cuando se suministra dietas a base de forrajes o pastos sin picar o en trozos grandes, la variación dependerá del tipo de forraje o pasto, estado de madurez del mismo, la fertilización de la tierra en la que creció, etcétera (Balch, y Rowlan, 1957).

Si el forraje se da al animal finalmente picado, la proporción de ácido acético se ve disminuida en relación a los otros ácidos. En aquellos en que la dieta es modificada por la introducción de una gran cantidad de concentrado, sin un periodo previo de adaptación, se puede provocar una acumulación de ácido láctico en el rumen (Zavaleta, 2002). Esto es el resultado de la incapacidad de las bacterias existentes para metabolizarlo a la velocidad en que es producido y por la falta de una concentración adecuada de bacterias capaces de hacerla. La producción excesiva de ácido láctico puede llevar a provocar una acidosis en el animal, y aún su muerte (Annison, 1965).

Los concentrados a base de granos en cuya preparación se incluye el tratamiento con calor y presión son fermentados con mayor rapidez y favorecen la producción de ácido propiónico. Este aumento en la digestibilidad puede deberse a que durante el tratamiento previo llega haber un cierto grado de fermentación de los gránulos del almidón e hidrólisis parcial de las moléculas del mismo (Trei *et al.*, 1966).

Es posible aumentar la producción de ácido butírico hasta un 25-35% de los ácidos grasos volátiles totales (en base a molaridad) utilizando raciones con un alto contenido de miel y urea, logrando también el proceso un aumento en la concentración de ácido valérico y caproico. Este incremento se realiza, por lo general, a expensas del ácido acético (Marty y Preston, 1970).

La actividad microbiana en el rumen, que es responsable de la digestión a este nivel y finalmente de la producción de los distintos ácidos grasos, depende de la adaptación de los m.o. a la ración alimenticia del animal (Church, 1960). Esta adaptación ayuda a determinar la digestibilidad de las diferentes raciones.

Por otro lado, se acepta que existe una relación estrecha entre la cantidad de células bacterianas presentes en el rumen, los carbohidratos fermentados y la producción de ácidos grasos volátiles. Por su parte, la fragmentación de los forrajes facilita la digestión porque hay mayor superficie para la acción enzimática bacteriana, sin embargo, el moler finamente el forraje disminuye su acción, ya que el tránsito a través del rumen se hace más rápido (Moore, 1964).

2.2.1.4 Absorción de ácidos grasos volátiles

Los AGV producidos en el retículo-rumen tienen la particularidad de poder ser absorbidos por las paredes del mismo. La mayor parte de los AGV se absorben en rumen, retículo y omaso, y sólo una pequeña parte atraviesa el abomaso y es absorbida en el intestino delgado (5%). Los AGV difunden pasivamente hacia el interior del epitelio ruminal, tanto en estado ionizado como no ionizado. Sin embargo, para pasar del epitelio ruminal a la sangre los AGV deben estar en su forma no ionizada. La mayor parte de los AGV en el rumen se encuentran en forma ionizada, o sea, disociadas, debido al pH del medio ruminal. En un ácido débil, como los AGV, los hidrogeniones pueden disociarse dependiendo del pH del medio en el que se encuentra el ácido. La cantidad de ácido débil que se encuentra disociada a un pH determinado depende el punto

isoeléctrico (o pK) de ese ácido. Cuando el pH del medio es igual al pK del ácido débil, la mitad del ácido se encuentra disociada. El pK de los AGV (± 4.8) es muy inferior al pH normal del rumen y, por lo tanto, la mayor proporción de AGV se encuentra en forma disociada. Esto tiene un efecto directo sobre la velocidad de absorción de los AGV: el estado disociado enlentece la absorción ya que en el epitelio ruminal estos AGV disociados tienen que asociarse con un hidrogenión primero para poder pasar a la sangre (fig. 1) (Lier y Regueiro, 2008).

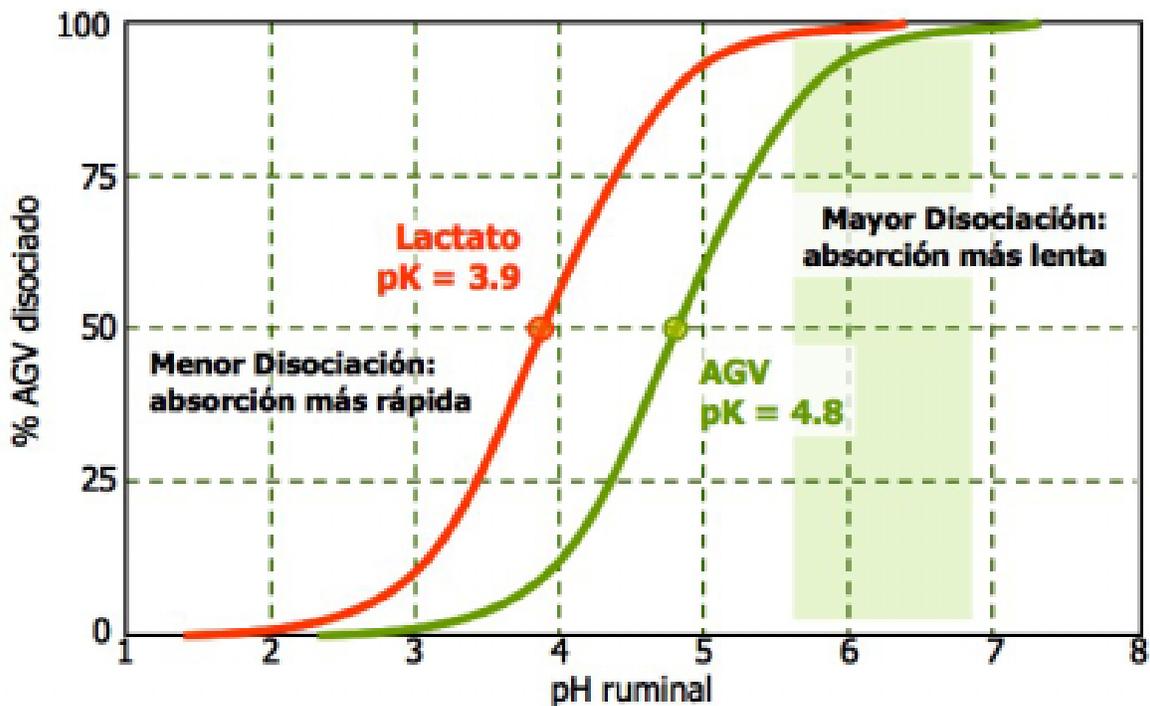


Figura 1.- Curvas de titulación de los AGV y lactato (Oetzel, 2003).

El hidrogenión necesario para que el AGV se asocie en el epitelio ruminal proviene de la disociación del ácido carbónico. El ácido carbónico en el epitelio ruminal se forma a partir del dióxido de carbono y agua. El dióxido de carbono

puede provenir tanto del rumen como de la sangre, ya que atraviesa pasivamente las membranas celulares. De la disociación del ácido carbónico se obtiene un hidrogenión para la asociación de los AGV, y lo que queda es una molécula de bicarbonato. Este bicarbonato es secretado hacia el rumen donde actúa como tampón (fig. 1.1.1). De aquí que tiene el doble efecto de la absorción de los AGV sobre el pH ruminal. Gran parte del butirato que es absorbido por la pared del rumen se utiliza directamente como fuente de energía para el órgano. Lo que no es utilizado es metabolizado a β -hidroxi-butilato (Lier y Regueiro, 2008).

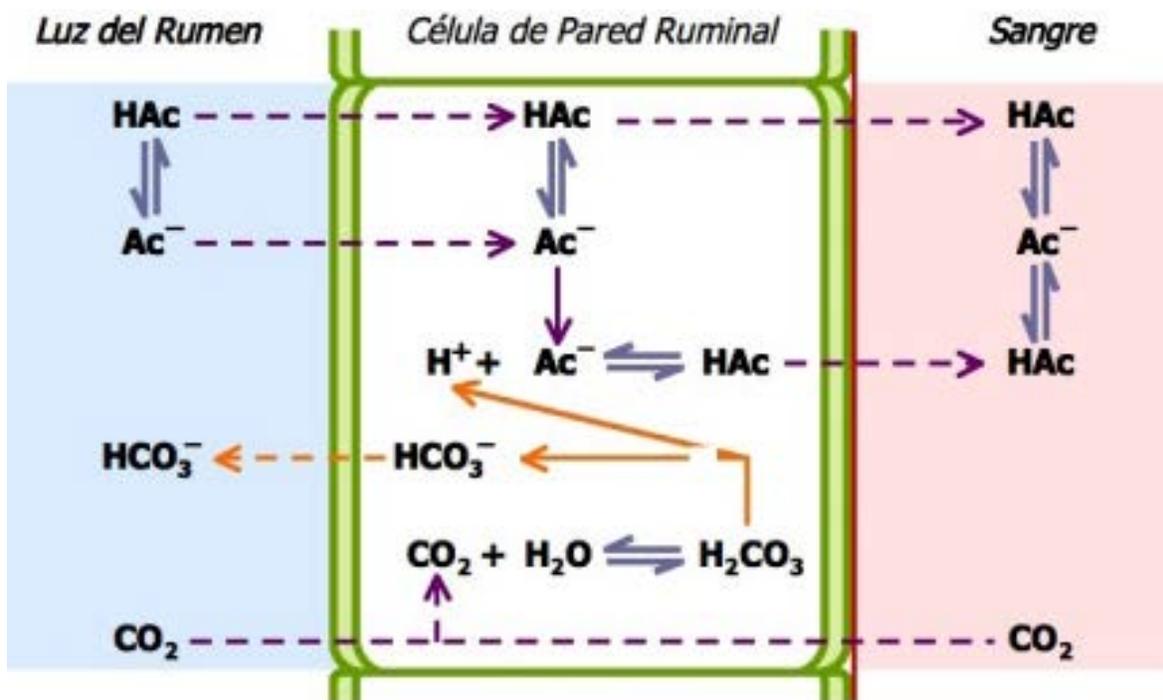


Figura 1.1.1.- Mecanismo de absorción de los AGV por la pared del rumen: HAc = ácido asociado, Ac^- = ácido disociado (Church 1988).

La absorción de los ácidos grasos es afectada por el pH en el medio. Si se alcaliniza el contenido ruminal, la absorción se reduce, en cambio cuando el medio es acidificado la absorción se aumenta (Sellers, 1955).

Otro de los factores que tiene una gran influencia sobre la velocidad de absorción de los ácidos, es el metabolismo de los mismos a nivel de la célula epitelial del rumen. El hecho de que estos ácidos sean metabolizados en el epitelio que recubre el rumen ha sido estudiado por diferentes investigadores y aun cuando no se conoce bien el grado de modificación de cada uno de los ácidos, es posible afirmar que el acético es absorbido y pasa al torrente sanguíneo prácticamente sin ningún cambio; el propiónico se absorbe y en el epitelio una parte se convierte en láctico; en cambio el butírico es transformado casi totalmente a cuerpos cetónicos (Pennington y Pfander, 1967; Leng, 1967).

2.2.1.5 Utilización de los ácidos grasos volátiles

En la sangre que proviene de las paredes del rumen aparecen los ácidos: acético, propiónico, láctico y pequeña cantidad de butírico, así como cuerpos cetónicos; todos estos productos son llevados en la sangre portal hasta el hígado, sin que haya entrada de dichos productos al sistema linfático (Annison, 1957).

En el hígado, el ácido propiónico es el único que interviene en la glucogénesis, por ello, bajo ciertas condiciones alimenticias se puede producir un déficit de glucosa. La proporción de glucosa que se puede obtener a partir del ácido propiónico varía entre 19 y 62% (Steel y Lend, 1973), esto ha sido estudiado

en borregas, tanto vacías como cargadas: demostrando que la velocidad de conversión del ácido propiónico en glucosa depende directamente de la velocidad de producción del ácido en el rumen. Por lo tanto, las necesidades de glucosa tienen que ser cubiertas por medio de la glucogénesis a partir de ácidos aminados de tipo glucogénico.

Ahora bien, la utilización de glucosa por unidad de tejido resulta menor en los rumiantes que en otros animales, ya que se encuentra presente una gran cantidad de ácido acético y cuerpos cetónicos (Rook y Thomas, 1969). Además, una gran proporción del ácido propiónico es oxidado hasta CO₂ y energía, haciéndolo entrar a ciclo de Krebs (Leng y Steele, 1967; Judson *et al.*, 1968), bajo la forma de Succinil-CoA.

La pequeña cantidad de ácido butírico que logra escapar el metabolismo en el epitelio rumial es utilizado en el hígado, junto con los ácidos grasos de cadena más larga que se originaron en rumen durante la digestión fermentativa, para la síntesis de grasas más complejas, o bien es oxidado produciendo radicales acetil que se utilizan en el ciclo de Krebs para la producción de CO₂ y energía.

Por su parte el ácido acético, el láctico y los cuerpos cetónicos, especialmente el ácido β hidroxibutírico, salen del hígado prácticamente sin haber sufrido ningún cambio y constituyen los sustratos utilizables por los tejidos extrahepáticos. Ahora bien, la eficiencia en el aprovechamiento de la energía

proveniente de los ácidos grasos volátiles aplicada a la producción es mucho menor que la de la glucosa. Es decir, cuando se han realizado experimentos en los que a los animales en estado de ayuno se les suministra por infusión directa al rumen los distintos ácidos, se ha observado que el ácido acético solo, se utiliza hasta un 60% y el propiónico o el butírico tienen una utilización hasta del 80% (Armstrong y Blaxter, 1957).

Si en lugar de darse solos los ácidos, se mezclan, la eficiencia en su utilización se mejorará (Armstrong y Blaxter, 1957). En comparación, la glucosa administrada por vía intra-abdominal o intravenosa, es decir, de manera que no sufra fermentación, se utiliza con una eficiencia del 100%.

En la engorda de animales el aprovechamiento de la energía tiene una eficiencia menor cuanto mayor sea la proporción de ácido acético producido. Las mezclas con 68% de ácido acético (en base a molaridad) tienen una eficiencia aproximada de 33%, si se reduce el ácido acético a 45%, la eficiencia de utilización se eleva hasta 60%; en cambio la glucosa suministrada por vía intravenosa o infusión en abomaso tiene una eficiencia de 70% (Zavaleta, 2002)

El aumento en la proporción molar de ácido propiónico generalmente se traduce en ganancia de peso y aumento de producción láctea (Judson *et al.*, 1968 y Clanton y Woods, 1966). Sin embargo, bajo ciertas condiciones, una proporción elevada de ácido acético en el rumen actúa como estimulante en la retención de nitrógeno en el animal en crecimiento (Orskov y Allen, 1966).

2.2.1.5.1 pH del rumen

Son varios los factores que intervienen para cambiar el pH en el rumen. La naturaleza de la dieta suministrada es factor determinante en las fluctuaciones del pH ruminal, aunque los rumiantes poseen un sistema altamente desarrollado para mantener el pH dentro de los límites fisiológicos 5.0 a 7.0 (Krause y Oetzel, 2006).

El consumo de forrajes estimula elevadas secreciones de saliva, y los carbohidratos de los forrajes son lentamente digeribles, mientras que el consumo de granos, con carbohidratos rápidamente digeribles genera una importante concentración de ácidos orgánicos (Fischer *et al.*, 1994). El consumo excesivo de carbohidratos rápidamente fermentables resulta en un aumento de la concentración de ácido láctico y en una repentina baja de pH (Krause y Oetzel, 2006), pero la magnitud de la disminución del pH debido a un aumento en la tasa de fermentación ruminal dependerá de la capacidad búfer del rumen (Counotte *et al.*, 1979).

La saliva secretada por el rumiante actúa como lubricante del alimento consumido, con un pH 8.2 en promedio, alto contenido de sodio, potasio, bicarbonato y fosfato, características que le permiten su acción búfer en el licor ruminal (Emery *et al.*, 1960; Krause y Oetzel, 2006). En ensayos realizados por Elam y Davis (1962) se detectó incremento en el pH del fluido ruminal al agregar una solución de saliva artificial, fenómeno que fue atribuido a las sales búfer contenidas en dicha solución. Sin embargo, una disminución en el pH del rumen no aumenta la secreción de saliva, ésta es estimulada por la comida y la rumia.

Durante el ayuno prolongado se eleva el pH ruminal, se inhibe el crecimiento de las bacterias que convierten el lactato en ácidos grasos de cadena corta (AGCC), y deja el ecosistema ruminal más susceptible a la acidosis severa; cuando el animal es realimentado, tiende a comer más rápidamente y en mayor cantidad, originándose un doble efecto para bajar el pH, mayor producción de AGCC y ausencia de bacterias capaces de convertir lactato en AGCC. Esto conlleva a establecer condiciones fisiopatológicas: incremento del ácido láctico, hiperosmolaridad, y acidemia sistémica (Krause y Oetzel, 2006). La habilidad del rumen para absorber AGCC ayuda a mantener el pH.

La forma física de la ración también afecta el pH. El suministro de heno estimula la rumia, y aumenta la producción de AGCC, especialmente la producción de acetato, y la producción de NH_3 (Fischer *et al.*, 1994). La fibra larga estimula la rumia y la secreción salival, mientras que la fibra corta no puede ser mantenida en el rumen largo tiempo, disminuyendo la digestibilidad y el pH (Febres y López, 2007).

El pH del rumen varía considerablemente durante el día e influye profundamente sobre la población microbiana (Yokoyama y Johnson, 1988). El pH del rumen baja progresivamente inmediatamente después del suministro del alimento y retorna a los niveles previos a la suplementación en 24 horas (Crater *et al.*, 2007). En los sistemas intensivos de producción, donde la utilización de concentrados es alta, la tasa de degradación de la fibra del alimento es disminuida

por efecto del pH sobre la actividad celulolíticas de los microorganismos (Febres y López, 2007).

En estas condiciones de alimentación, disminuye la rumia y por consiguiente, la secreción de saliva disminuye, lo cual impide que lleguen al rumen los álcalis contenidos en ella, obstruyendo su acción como neutralizantes de los AGCC. Cuando el pH cae a niveles por debajo de 5.5 se reduce el número de especies de bacterias y los protozoarios no sobreviven, hay un aumento de la osmolaridad del contenido ruminal, se inhibe el consumo, convirtiendo las condiciones del rumen en menos estables y con menor capacidad para mantener el pH en condiciones normales con cambios en la dieta (Krause y Oetzel, 2006).

Cuanto más húmedo es el alimento menos secreción de saliva es necesaria, y menos sales alcalinas entran al rumen, entonces baja el pH. Añadir aceites y grasas también reduce el pH ruminal, ya que actúan de manera tóxica para los m.o. que fermentan la fibra, y cambia el patrón de fermentación. Sin embargo, las fluctuaciones del pH pueden ser alteradas a través del manejo de la alimentación. Añadiendo bicarbonato de sodio a la ración mantiene el pH por encima de 5.5 y aumenta el consumo. Utilizando semillas oleaginosas enteras en vez de molidas, retarda la liberación de los aceites y no causa la baja del pH. Suministrando ración mezcladas completas (TMR = Total mixed rations) ayuda a estabilizar el pH, sincroniza la disponibilidad de la proteína degradable a los carbohidratos fermentables, aumenta el consumo, y minimiza la selección. Si los concentrados van a ser suministrados separadamente, se debe limitar a 3 kilos por

suministro, y no utilizar granos con altos contenidos de almidón (Febres y López, 2007).

2.2.1.5.2 Capacidad buffer

La acción búfer es la capacidad de una solución para resistir cambios en el pH (Giger-Reverdin *et al.*, 2002), y está definida como el número de moles por litro de H⁺ necesarios para causar un cambio en el pH. La de rumen está definida principalmente por el valor de pH, presión parcial de CO₂ y la concentración de sales de ácidos grasos de cadenas cortas (AGCC) (Counotte *et al.*, 1979).

El sistema búfer del rumen es muy complejo, descansando sobre una abundante producción de saliva (una vaca puede producir hasta 150 L/día), la remoción de los AGCC a través de la absorción en la pared ruminal, el consumo de C por parte de los m.o., las sales minerales que reaccionan con los ácidos orgánicos vegetales produciendo CO₂, la proteína del alimento y el nitrógeno no proteico que al ser degradado generan NH₃, neutralizan los ácidos en el proceso (Febres y López, 2007).

2.3 Peletizado de alimentos

Consiste en la aglomeración de las pequeñas partículas de una mezcla en unidades largas o comprimidos densos mediante un procesos mecánico combinado con la humedad, el calor y la presión; todo ello determina un mejoramiento de las características en los alimentos (Behnke, 2010).

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

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

2.3.1 Proceso de peletización

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

- Molienda

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

- Mezclado

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

- Alimentación

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

- Acondicionamiento

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

- Peletización

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

- Complemento

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

El proceso finaliza con un tamizador de polvos con la finalidad de estandarizar la presentación seguida del envasado del producto terminado. En la figura 1.1.2 se presenta una peletizadora y dado que utiliza.

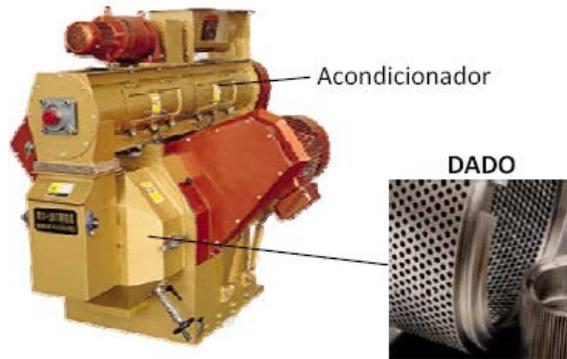


Figura 1.1.2.- Representación de una peletizadora simple y el tipo de dado que utiliza (Rodríguez, 2006).

2.3.2 Efecto del peletizado sobre la calidad nutricional

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

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

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

No obstante, estas variaciones en el ritmo de degradación pueden verse compensadas por variaciones en el tiempo de retención, provocadas simultáneamente por el tratamiento. Por ejemplo, la molturación del maíz incrementa su ritmo de degradación al aumentar la superficie expuesta a la acción bacteriana (Galyean *et al.*, 1981), pero también el menor tamaño de partícula puede facilitar su salida del rumen, disminuyendo el tiempo de retención, lo que compensaría, en parte, la mayor velocidad de degradación.

Otros factores, como el nivel de alimentación (Owens y Goetch, 1986) o la proporción de forraje en el caso de dietas mixtas (Colucci *et al.*, 1989), pueden

hacer variar el tiempo de retención y por consiguiente la digestibilidad ruminal (Galyean *et al.*, 1979).

No obstante, es de notar que la influencia del tiempo de retención varía dependiendo del ritmo de fermentación. Esta diferencia se puede apreciar en la figura 1.1.3 en la que se representan las curvas típicas de degradación ruminal del maíz (M) y la cebada (C). Ya que ésta última fermenta muy rápidamente, es de esperar que las variaciones en el tiempo de retención tengan un efecto más acusado sobre la degradabilidad del maíz que sobre la de la cebada.

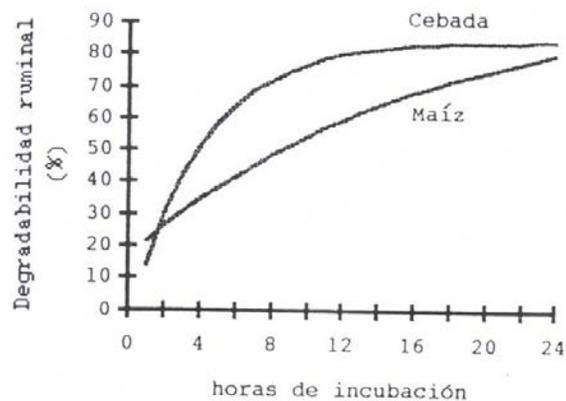


Figura 1.1.3.- Cinética de degradación ruminal de la cebada y del maíz (Guada, 1993).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio.

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

3.2 Elaboración del producto peletizado.

Se establecieron las mejores condiciones para la elaboración de un producto peletizado considerando principalmente el contenido de humedad, contenido de nutrientes y nivel de aglutinante (zeolita) empleando diversos subproductos agroindustriales (cuadro 1). El producto peletizado fue elaborado por Alberto Guerrero Rodríguez en la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAZ.

Cuadro 1.- Proporciones de ingredientes utilizados en la elaboración del pelet.

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

3.3 Análisis de muestras

Los componentes proximales del producto peletizado fueron determinados por los métodos de la AOAC (1997): humedad (método 925.09) cenizas (método 923.03); grasa cruda o extracto etéreo (método 920.39) proteína cruda (Kjeldahl) (método 954.01) usando 6.25 como un factor de conversión de nitrógeno proteína, fibra cruda (método 962.09). Los carbohidratos se estimaron como el extracto libre de nitrógeno (ELN) calculado como el porcentaje faltante para completar el 100 % de los componentes. La fibra en detergente neutro (FDN) se determinó según procedimiento publicado por Goering y Van Soest, (1970). Los carbohidratos no-estructurales (CNE) se calcularon con la siguiente ecuación (Van Soest, 1994): $CNE (\%) = MS - [PC + EE + cenizas + FDN]$. La información del contenido nutricional del alimento peletizado (Cuadro 2), se incluye en el mismo la composición química de los otros dos componentes que conformaron los tratamientos (forraje y concentrado sin peletizar).

Cuadro 2.- Caracterización nutricional de los tres principales componentes de la dieta.

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

MS= Materia seca, M0= Materia Orgánica, EE=Extracto etéreo, FC= Fibra Cruda, FDN= Fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácido, ELN= Extracto libre de nitrógeno.

3.4 Prueba de alimentación

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

La prueba de alimentación tuvo una duración total de 70 días, la cual estuvo dividida en cinco etapas que corresponden a la evaluación de cada tratamiento. Cada etapa tuvo una duración de 12 días, en las que cinco días se destinaban para el periodo de adaptación y siete para el periodo de prueba. Todos los tratamientos evaluados presentaron una relación forraje:concentrado de 30:70. La inclusión del alimento de pelet fue: $T_1= 0$; $T_2= 25$; $T_3= 50$; $T_4= 75$; y $T_5= 100\%$. Estas proporciones fueron sustituir el concentrado en polvo por concentrado peletizado. La caracterización nutricional para los cinco tratamientos se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3.- Caracterización nutricional de los tratamientos utilizados durante la prueba de alimentación.

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

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

3.5 Tratamientos

Se evaluarán 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 4:

Cuadro 4.- Ingredientes y cantidades utilizadas para cada tratamiento.

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

3.6 Instalaciones y equipo

El presente trabajo se realizó en cinco jaulas metabólicas individuales, de madera, con un piso metálico (parrilla), cuentan con comederos y bebederos desmontables. Las jaulas están ubicadas en la Unidad Metabólica e Investigación en el área de pruebas metabólicas para rumiantes.

3.7 Alimentación

El alimento se sirvió a las 7:00 a.m. y a las 3:00 p.m. Durante el periodo de prueba se registró la cantidad de alimento ofrecido y rechazado para obtener por diferencia el consumo diario de alimento. La cantidad rechazada se retiraba de los comederos a la hora del primer servicio para su posterior pesaje y registro.

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

3.8 Variables a determinar en el experimento.

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

- ✓ Concentración de AGV's
 - Acético
 - Propiónico
 - Butírico
 - Relación acetato:propionato
 - pH

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.

4. Resultados y Discusión

Los diferentes niveles de pelet en la ración para ovinos, produjo efectos significativos sobre la producción de ácido acético, propiónico y butírico ($P < 0.05$). De igual manera se presento diferencia significativa ($P < 0.05$) para la producción total de ácidos grasos volátiles y pH. Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 5.

5.-	Variable	Nivel de pelet (%)					Cuadro
		0	25	50	75	100	
de	Acético (mM/l)	13.8 ^c	16.6 ^b	17.8 ^b	23.5 ^a	16.1 ^b	Concentración de ácidos grasos y pH en líquido ruminal de ovinos alimentados con diferentes
	Propiónico (mM/l)	6.3 ^a	5.9 ^{ab}	5.1 ^b	3.6 ^c	4.1 ^c	
	Butírico (mM/l)	2.2 ^a	2.9 ^{ab}	3.5 ^{bc}	6.5 ^{bc}	3.9 ^c	

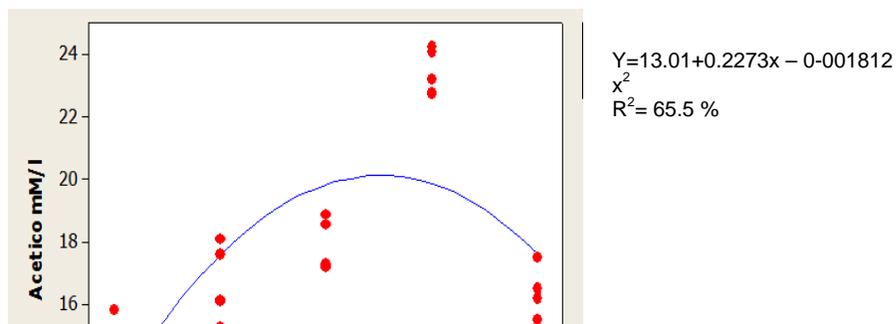
niveles de pelet en base al concentrado.

Acético:Propiónico	2.2 ^d	2.9 ^{cd}	3.5 ^{bc}	6.5 ^a	3.9 ^b
Producción total (mM/l)	24.8 ^{bc}	26.7 ^b	26.6 ^b	3.06 ^a	23.2 ^c
pH	7.1 ^a	6.8 ^b	6.7 ^b	6.8 ^b	7.1 ^a

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

En el cuadro 5 se observa que conforme se incrementa el porcentaje de peletizado en la ración para ovinos la producción de ácidos grasos volátiles se incrementa alcanzando un valor mayor para la inclusión de 75% de pelet en base al concentrado (70%), sin embargo este valor disminuyó al adicionar el 100% de pelet.

La concentración de ácido acético parece mejorar en cualquier nivel de inclusión del pelet en relación al testigo, Ahora bien la línea ajustada cuyo análisis presentó un efecto significativo para ajuste cuadrático (P<0.05) permite un mejor análisis y la obtención de un rango para establecer el nivel óptimo de inclusión del producto peletizado en base al concentrado (grafica 1.2).



Grafica 1.2.-Comportamiento de la concentración de ácido acético en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.

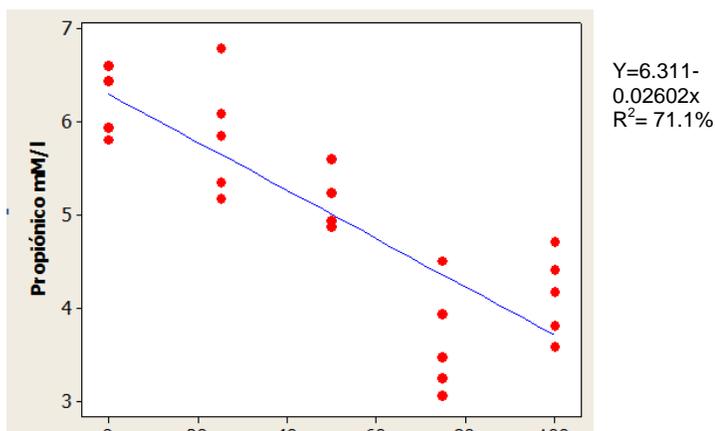
La ecuación de predicción de la grafica anterior ($y = 13.01 + 0.2273x - 0.001812x^2$) permite establecer un rango como nivel optimo de inclusión de peletizado, en base a lo anterior se puede señalar que la mayor producción de ácido acético se presenta con niveles de 50 a 75% de pelet en base al concentrado.

En relación al efecto de los niveles de alimentación sobre la producción de ácido acético, se entiende que por su fisiología digestiva del rumiante está constituido para el consumo de forraje, de manera que la mayor producción de ácido acético en el rumen ocurre cuando hay altos niveles de ingredientes fibrosos (principalmente forrajes) que estimulan la producción de ácido acético en el rumen (Church, 1993), sin embargo, la regulación de las condiciones optimas del rumen también desempeña un papel importante, en este caso las características físicas y químicas del pelet pudieron optimizar a cierto punto las condiciones ruminales (retención de partículas a nivel ruminal, adecuada disponibilidad de sustrato y regulación del pH ruminal) para que proliferaran microorganismos

productores de ácido acético aumentando con esto las concentraciones de este ácido.

Lo anterior se ve reflejado en la grafica 1.2 donde la concentración de ácido acético aumenta conforme el nivel de inclusión de peletizado se incrementa en la dieta, esto se debe a que conforme se adiciona pelet en base al concentrado, la digestibilidad de la dieta en general aumenta. Aquí se vuelve fundamental el hecho que medida que el tamaño de la partícula del pelet disminuye debido al proceso digestivo (mecánico y enzimático) el resto de los componentes del alimento se hacen más susceptibles a la degradación por parte de los microorganismos en el rumen, con lo que se puede aumentar la producción de ciertos compuestos, en este caso de ácido acético.

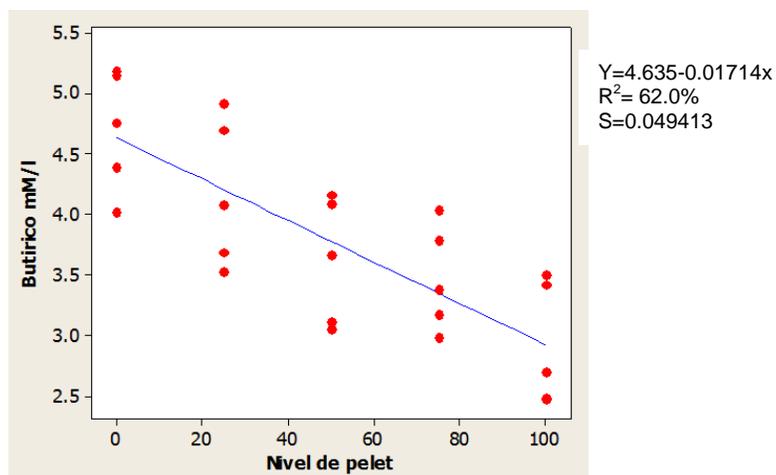
Por otra parte se puede observar que la producción de ácido propiónico disminuye de forma significativa conforme se incrementan los niveles de porcentaje del pelet en el concentrado. Sin embargo, para la producción de ácido propiónico el análisis estadístico no arrojó efecto significativo para ajuste cuadrático de los datos, sin embargo presentó efecto significativo ($P < 0.05$) para ajuste lineal. El comportamiento para esta variable se presenta en la grafica 1.2.1.



Grafica 1.2.1.- Comportamiento de la concentración de ácido propiónico en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.

En la grafica 1.2.1 se puede observar que conforme se incrementa el nivel de pelet en la dieta la producción del ácido propiónico va en descenso, esto puede estar relacionado con el efecto mencionado anteriormente. El pelet al regular las condiciones ruminales impulsa principalmente vías metabólicas que generan acetato y reducen las vías que dan origen a la producción de propionato, y butirato.

El efecto que se presentó para la producción de ácido butírico fue similar a la del propiónico, a medida que el porcentaje de peletizado se incrementa en la dieta, la producción del ácido butírico disminuye, ya que no hubo efectos significativos para ajuste cuadrático de los datos sin embargo, presento efecto significativo ($P < 0.05$) para ajuste lineal. El ajuste de datos para esta variable se presenta en la grafica 1.2.2.



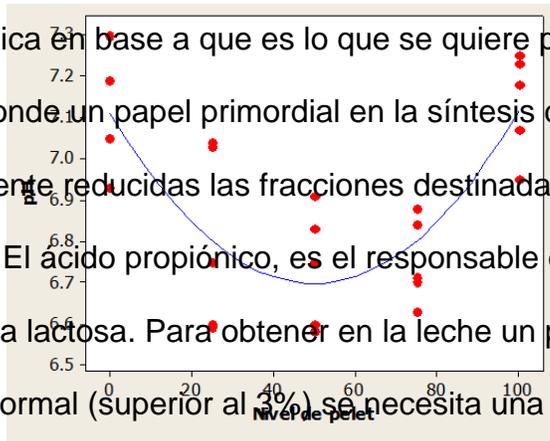
Grafica 1.2.2.- Comportamiento de la concentración de ácido butírico en dietas con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.

En cuanto a la relación de AGV's, se produce en mayor cantidad es el acetato. Es el producto típico de rumiantes consumiendo forraje y depende del tipo de microorganismos presentes. La celulosa y la hemicelulosa son los principales carbohidratos de los forrajes y su presencia en el rumen induce el crecimiento de las poblaciones de bacteria celulolíticas, hemicelulolíticas y metanogénicas. Cuando se agregan concentrados a la dieta, se esta agregando almidón que es un carbohidrato de fácil digestión; esto induce el crecimiento de una flora amilolítica que está asociado a un cambio de pH en el rumen. En estas condiciones se aumenta la proporción de propionato en el rumen (Lier y Regueiro, 2008).

Church (1988) realizó experimentos para la proporción de AGV's producidos de acuerdo a la proporción forraje/concentrado en la dieta, donde se observó que la producción de propionato aumenta cada vez más al dar mayor

proporción de concentrados, sin embargo, nunca es mayor que la producción de acetato.

La importancia radica en base a que es lo que se quiere producir ya que el ácido acético le corresponde un papel primordial en la síntesis de lactosa, siendo relativamente reducidas las fracciones destinadas a la formación de la caseína y lactosa. El ácido propiónico, es el responsable en primer término de la síntesis de la lactosa. Para obtener en la leche un porcentaje fisiológicamente normal (superior al 3%) se necesita una relación ácido acético-



ácido propiónico de por lo menos 3:1. Esta relación se obtiene cuando el contenido de fibra bruta constituye alrededor de un 20% de la materia seca de la ración. Para engorda de animales, y para obtener buenos aumentos de peso diario, la relación molar entre el ácido acético y el propiónico es más estrecha, con una mayor concentración relativa del segundo. Esto se logra con un menor contenido de fibra bruta, lo que permitiría la incorporación de concentrados a la ración (Blanco, 1999). En cuanto a los niveles de pH, se puede observar en la figura 1.2.3 que a medida que se incrementa el nivel de pelet en la dieta (en base al concentrado hasta un 50%) el nivel del pH desciende. La línea ajustada cuyo análisis presentó un efecto significativo para ajuste cuadrático ($P < 0.05$) permite un mejor análisis y permite estimar el impacto del pelet sobre el comportamiento de los niveles de acidez en el rumen.

Grafica 1.2.3.- Comportamiento del nivel del pH en líquido ruminal de ovinos alimentados con diferentes niveles de inclusión de pelet en base al concentrado.

La ecuación de predicción de la grafica anterior ($y = 7.111 + 0.01661x - 0.000167 x^2$) permite establecer un rango como nivel optimo de inclusión de peletizado, en base a lo anterior el nivel optimo para mantener el pH en condiciones normales (5.5 a 7.0) (Church y Pnd, 1990) se presenta con niveles de 25 a 50% de pelet en base al concentrado.

A manera que el nivel de pelet en la dieta se incrementa, el pH desciende debido por un lado, a que los componentes químicos del pelet son muy fermentables (alto contenido de almidones y azúcares solubles y bajo nivel de carbohidratos estructurales) (Sauvant, *et al.*, 1999) y en segundo lugar debido al efecto señalado anteriormente: al regularse las condiciones ruminales se provoca un aumento (solo a cierto nivel 60:75%) de productos metabólicos en este caso de ácidos grasos los cuales probablemente impactan reduciendo los niveles de pH en el líquido ruminal. Lier y Regueiro (2008) mencionan que los alimentos no inducen todos por igual a la rumia. La forma física de los alimentos es importante para inducir una adecuada rumia. El forraje tosco (fibroso), por ejemplo, estimula mucho a la rumia mientras que los concentrados prácticamente no lo hacen. Durante la rumia se secreta gran cantidad de saliva que llega al rumen con la

deglución del bolo alimenticio o de la rumia. La saliva contiene bicarbonato (HCO_3^-) y fosfato (HPO_4^-) que le dan un pH alcalino a la saliva (8.2 a 8.4) y que en el rumen actúan como tampón frente a la producción de ácidos. Cuando el rumiante consume concentrados la rumia disminuye y por lo tanto disminuye también la producción de saliva). Esto hace descender el pH ruminal, sin embargo, en este caso las propiedades químicas y físicas interactuaron en el producto peletizado para que los descenso en el pH no fueran tan bruscos y se mantuvieran en niveles aceptables así no ocasionaran problemas metabólicos como acidosis, todo esto a pesar de que su inclusión a altos niveles generó incrementos en la producción de ácidos grasos, situación que bajo otras condiciones pudieron haber impactado negativamente sobre grado de acidez en el rumen.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que el nivel de peletizado en base al concentrado más recomendable para dieta integrales en ovinos para la producción de ácido acético es el de 50 a 75% por su buena digestión y por sus características para su retención a nivel ruminal, adecuada disponibilidad de sustrato y regulación del pH ruminal. De esta manera se propicia un medio adecuado para los microorganismos productores de ácido acético.

Para la producción del ácido propiónico y butírico los niveles de peletizado que se recomiendan de 0 a 25% ya que a medida que se aumenta el porcentaje de

peletizado en la dieta el tamaño de la partícula del mismo disminuye debido al proceso digestivo impulsando las vías metabólicas que generan acetato y reducen las vías que dan origen a la producción de propionato, y butirato.

6. LITERATURA CITADA

- ❖ Amstrong D. G. and K. L. Blaxter. 1957. The heat increments of mixtures of steam volatile fatty acids in fasting sheep. *Brit. J. Nutr.* 11: 242-272
- ❖ Amstrong, D. G, y Smithard R.R. 1979. The fate of carbohydrates in the small and large intestines of the ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 38: 283.
- ❖ Annison E.F. 1957. Studies on the portal blood of sheeps. 2 absorption of volatile fatty acids from the rumen of the shep. *Biochem J.* 66: 592-599.

- ❖ Annison E. F. 1965. Physiology o digestion in the ruminant. Buterworth London. 1ª Edición. Pág. 185.
- ❖ Balch C. C. and S. J. Rowlan. 1957. Volatile fatty acids and lactic in the rumen of cows receiving a variety of diets. Brit. J. Nutr. 11: 288-299.
- ❖ Banks, W.,Clapperton J.L., Girdler A.K. and Steele W. 1984. Effect of inclusion of different forms of dietary fatty acid on the yield and composition of cow's milk. J. Dairy Res. , 51: 387-395
- ❖ Barker H. A. 1961. The bacteria 2: 15 1ª Edición. Academic press. New Yorck.
- ❖ Beever, D.E., Coelho, D. A., Silva J. F. ,Prescatt J: D. , Amstrong D. E.. Br. Nutr. 28: 347. (1972)
- ❖ Behnke, K. C. 2010. El arte (ciencia) del peletizado. Consultado en línea: [www.wattagnet.com/El_arte_\(ciencia\)_del_peletizado.html](http://www.wattagnet.com/El_arte_(ciencia)_del_peletizado.html)
- ❖ Blanco M. 1999. El alimento y los procesos digestivos en el rumen. Sitio argentino de producción animal.
- ❖ Church D. C. 1993. El rumiante. Fisiología Digestiva y Nutricion. Ed. Acriba S.A., Zaragoza, España, 652 páginas.
- ❖ Church D. C. 1988: El Rumiante, Fisiología digestiva y nutrición. Edición en lengua española 1993. Editorial Acribia, S.A.
- ❖ Church D. C. and Petersen. 1960. Effect of several variables on in vitro rumen fermentation. J. Dairy Sci. 43: 81-92.

- ❖ Chalupa W., Rickabaugh B. D. S. Kronfeld and D. Sklan. 1984. Rumen fermentation in vitro as influenced by long-chain fatty acids. *J. Dairy Sci.* 67:1439
- ❖ Clanton D. C. and W. Woods. 1966. Performance of steers and rumen fermentation as influenced by physical form of ingredients and alfalfa: corn ratio. *J. Anim. Sci.* 25: 102-106.
- ❖ Colucci, P. E., G. K. Macleod, W. L. Grovum, L. W. Cahill, and I. McMillan. 1989. Comparative digestion in sheep and cattle fed different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *J. Dairy Sci.* 72:1774.
- ❖ Counotte, G. H. M., A. Th. van't Klooster, J. van der Kuilen. and R. A. Prins. 1979. An analysis of the buffer system in the rumen of dairy cattle. *J. Animal Science*, 49:1536-1544.
- ❖ Crater, A. R., P. S. Barboza, R. J. Forster. 2007. Regulation of rumen fermentation during seasonal fluctuations in food intake of muskoxen. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 146 :233–241.
- ❖ 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.
- ❖ Dehority A. 1967. Extent of cellulose and hemicelluloses digestion in various forages by pure cultures of rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 50: 1136-1141.

- ❖ Dehority, B. A. 1973. Hemicellulose degradation by rumen bacteria. Federation Proc. 32:1819.
- ❖ Elam, C. J. y R. E. Davis. 1962. Ruminant characteristics and bloat incidence in cattle as influenced by feeding synthetic saliva salts and sodium chloride. J. Anim. Sci. 21: 327-330.
- ❖ Elizalde J.C. y Santini F.J. 1992. Factores nutricionales que limitan las ganancias de peso en bovinos en el período otoño- invierno. Boletín técnico N° 104 INTA Balcarce.
- ❖ Emery, R. S., C. K. Smith, R. M. Grimes, C. F. Huffman y C. W. Duncan. 1960. Physical and chemical changes in bovine saliva and rumen liquid with different hay-grain rations. J. Dairy Sci. 43: 76-80.
- ❖ Febres O. A. y J.V. López. 2007. Propiedades físicas y químicas del rumen. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú.
- ❖ Fernández Mayer, A. 1998. Fisiología de la producción de carne. INTA.
- ❖ Fischer, J. M., J. G. Buchanan-Smith, C. Campbell, D. G. Grieve y O. B. Allen. 1994. Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn. J. Dairy Sci. 77: 217-229.
- ❖ Fogerty A.C., Johnson A.R. Influence of nutritional factors on the yield and content of milk fat: protected polyunsaturated fat in the diet. Int. Dairy Fed. Bull 125: 96-104 (1980)

- ❖ Gagliostro G. 1994. Regulación del metabolismo en rumiantes. Nutrición animal en rumiantes. INTA
- ❖ 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.
- ❖ Giger-Reverdin, S., C. Duvaux-Ponter, D. Sauvant, O. Martin, I. N. do Prado, R. Muller. 2002. Intrinsic buffer capacity of feedstuffs. Anim. Feed Sci. Techn. 96:83-102.
- ❖ 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.
- ❖ 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
- ❖ Hawkins E.E., Meader J.E., Owen F.J. and Lowry S.R. 1984. Optimizing soybean utilization in dairy cows. J. Dairy Sci. 67:125 (Abstr.)
- ❖ Hungate. R. E. 1966. The anaerobic mesophilic, cellulolytic bacteria. Bact. Rev. 14: 1-149.
- ❖ Ishler V. y Varga G. 2009. De la alimentación a la leche: comprendiendo la función del rumen. Disponible en URL: <http://www.infocarne.com/bovino/lipidos.asp>

- ❖ Judson G. E., E. Anderson, J.R. Luick and R. A. Leng. 1968. The contribution of propionate to glucose synthesis in sheep given diets of different grain conten. Brit. J. Nutr. 22: 69-75.
- Kamande G. M. 2006. Digestion ruminal y nutrición. Congreso de Forrajes. Producir XXI, Bs. As., 15(180):52-57
- ❖ Kaufmann, W. 1976. Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH –regulation in the rumen and on feed intake in ruminants. Livestock Proc. Sci. 3:103.
- ❖ Krause, K. M., and G. R. Oetzel. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy Kurihara, A. Takenaka, M. Mitsumori, H. Kajikawa, R. I. Aminov. 2007. Influence of high temperature and humidity on rumen bacterial diversity in Holstein heifers. Anaerobe, 13: 57–64.
- ❖ Kronfeld D. S. 1976. The potential importance of the proportions of glucogenic, lipogenic and aminogenic nutrients in regard to the health and productivity of dairy cows. Adv. Anim. Nutr. 7:5-26.
- ❖ Leng R. A. and J. N. Steele. 1967. Contribution of propionate to glucose synthesis in sheep. Biochem. J. 103: 785-790.
- ❖ Leng, R. A. 1973. Salient features of the digestion of pastures by ruminants and other herbivores in “Chemistry and Biochemistry of Herbaje”. Acad. Press. Vol. 3, pág. 82:125.
- ❖ Lier E. y M. Regueiro. 2008. Digestión en retículo-rumen. Producción animal. Departamento de Fisiología. Facultad de Veterinaria, Montevideo. Bolsa del Libro.

- ❖ Marty R. J. y R. Preston. 1970. Proporciones molares de los ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGV) producidas en el rumen de ganado vacuno alimentados con dietas altas en miel. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 4: 189-192.
- ❖ McKinney, L. J. and R. G. Teeter. 2004. Predicting Effective Caloric Value of Nonnutritive Factors: I. Pellet Quality and II. Prediction of Consequential Formulation Dead Zones. *Poultry Science* 83:1165-1174.
- ❖ Minson, D.J. 1963. The effect of pelleting and wafering on the feeding value of roughage - a review. *Journal of the British Grassland Society*, 18:39-44.
- ❖ Moore L. A. 1964. Nutritive value of forage as affected by physical form. General principles involved with ruminants and effects of feeding pelleted or wafered forage to dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 23: 230-238.
- ❖ Oetzel GR. 2003. Preconvention Seminar 7. Dairy herd problem investigation strategies. American association of bovine practitioners. 36^a Annual conference, September 15-17. 2003-Columbus, Oh.
- ❖ Orskov E. R. and D. M. Allen. 1966. Utilization of salts of volatile fatty acids by growing sheep. 3. Effect of frequency of feeding on the utilization of acetate and propionate by young growing lambs. *Brit. J. Nutr.* 20: 519-527.
- ❖ Owens, F. N., and A. L. Goetsch. 1986. Digesta passage and microbial protein synthesis. Pages 196–226 in *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- ❖ Pennington R. J. and W. H. Pfander. 1967. The metabolism of short – chain fatty acids in the sheep. Some interrelationships in the metabolism of fatty

acids and glucose by sheep – rumen epithelial tissue. *Biochem, J.* 65: 109-111.

- ❖ Rearte D.H.; Elizalde J.C. 1994. Suplementación de vacunos en pastoreo. *Nutrición animal en rumiantes. Rev. Arg. de Prod. Animal* 9 (supl. 1): 6
- ❖ Relling A. y Mattioli G. 2003. *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Fac. Ciencias veterinarias. Argentina: Universidad Nacional de la Plata.*
- ❖ Rodríguez, S. D. 2006. El pellet. *Boletín Técnico. Producción Animal: Aves (UNAM).*
- ❖ Rook J. A. and P. C. Thomas. 1969. The significance of rumen activity. *Proc. Of the III Nutrition conference of feed manufactures. 1ª edición J. & A. Churchill. Ltd.*
- ❖ Santini, F. J. 1994. *Fisiología de la digestión ruminal. Aspectos conceptuales e implicancias prácticas. Nutrición animal en rumiantes INTA. Balcarce.*
- ❖ Scott T.W., Cook L.J., Ferguson K.A., MC Donald I.W., Buchanan R.A. and Loftushills G. 1970. Production of polyunsaturated milk fat in domestic ruminants *Austr. J. Biol. Sci.* 32: 291-302.
- ❖ Sellers A. I. 1955. *Physiology of digestión in the ruminant. Butterworth. Lonterworth. London. 1ª Edición. Pág. 390.*
- ❖ Steel J.W. and R. A. 1973. Effects of plane of nutrition and pregnancy on gluconeogenesis in sheep. *Synthesis of glucose from ruminal propionic. Brit. J. Nutr.* 30: 475-489.

- ❖ Stern M. D.; Hoover, W. H.; Sniffen C.; Crooker B. A. And Knowlton, P. H 1978. Effects of nonstructural carbohydrate urea and soluble protein levels on microbial protein synthesis in continuous culture of rumen contents. *J. Anim. Sci.* 47:944.
- ❖ Thomas, P.C. y Rook, J.A. 1981. En: *Recent developments in Ruminant Nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (eds). Butterworths, London. pp: 157.
- ❖ Trei J. E., W. J. Hale and B. Theurer. 1966. Influence of grain processing factors on in vitro fermentation rate. *J. Anim. Sci.* 25: 910.
- ❖ Van Soest P.J. 1982. *Nutricional Ecology of the Ruminant*.
- ❖ Warner A. G. I. 1962. Some factors influencing the rumen microbial population. *J. Gen. Microbiol.* 28: 129-146.
- ❖ Weston R. H. and J. P. 1968. The digestion of pasture by sheep. I. Ruminal production of volatile fatty by sheep offered diets of rye grass and forage oats. *Aust. J. Res.* 19: 419-432.
- ❖ Whanger P. D. and G. Matrone. 1967. Metabolism of lactic, succinic and acrylic acids by rumen microorganism from sheep fed sulfur-adequate and sulfur deficient diets. *Biochem. Biophys Acta.* 136: 27-35.
- ❖ Yokoyama, M. T. y K. A. Johnson. 1988. *Microbiología del rumen e intestino*. En: *El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición*. C. D. Church (Ed.). Editorial Acribia.
- ❖ Zavaleta E. 2002. Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. *Ciencia veterinaria.* 4:189-182.

7. ANEXOS

Modelo lineal general: AceticomM/l vs. Nivel de pelet

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Nivel de pelet	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para AceticomM/l, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Nivel de pelet	4	259.816	259.816	64.954	59.55	0.000
Error	20	21.816	21.816	1.091		
Total	24	281.632				

S = 1.04442 R-cuad. = 92.25% R-cuad.(ajustado) = 90.70%

Observaciones inusuales de AceticomM/l

Acetico ObsmM/l	Ajuste	EE de ajuste	Residuo Residuo	Residuo estándar	
1	15.8379	13.8042	0.4671	2.0337	2.18 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

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

Nivel de pelet	N	Media	Agrupación
75	5	23.5	A
50	5	17.8	B
25	5	16.6	B
100	5	16.1	B
0	5	13.8	C

Análisis de regresión polinomial: AceticomM/l vs. Nivel de pelet

La ecuación de regresión es

AceticomM/l = 13.01 + 0.2273 Nivel de pelet - 0.001812 Nivel de pelet**2

S = 2.38749 R-cuad. = 55.5% R-cuad.(ajustado) = 51.4%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	156.230	78.1148	13.70	0.000
Error	22	125.403	5.7001		
Total	24	281.632			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	66.4178	7.10	0.014
Cuadrática	1	89.8117	15.76	0.001

Modelo lineal general: PropiónicomM/l vs. Nivel de pelet

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Nivel de pelet	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para PropiónicomM/l, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Nivel de pelet	4	24.8996	24.8996	6.2249	25.57	0.000
Error	20	4.8688	4.8688	0.2434		
Total	24	29.7684				

S = 0.493397 R-cuad. = 83.64% R-cuad.(ajustado) = 80.37%

Observaciones inusuales de PropiónicomM/l

Propiónico	EE de	Residuo
ObsmM/l	Ajuste	ajuste Residuo estándar
6	6.80843	5.86049 0.22065 0.94794 2.15 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

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

Nivel de pelet	N	Media	Agrupación
0	5	6.3	A
25	5	5.9	A B
50	5	5.1	B
100	5	4.1	C
75	5	3.6	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis de regresión polinomial: PropiónicomM/l vs. Nivel de pelet

La ecuación de regresión es

$$\text{PropiónicomM/l} = 6.474 - 0.03912 \text{ Nivel de pelet} + 0.000131 \text{ Nivel de pelet}^2$$

S = 0.608157 R-cuad. = 72.7% R-cuad.(ajustado) = 70.2%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	21.6316	10.8158	29.24	0.000
Error	22	8.1368	0.3699		
Total	24	29.7684			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	21.1624	56.56	0.000
Cuadrática	1	0.4692	1.27	0.272

Modelo lineal general: ButiricomM/I vs. Nivel de pelet

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Nivel de pelet	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para ButiricomM/l, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Nivel de pelet	4	9.4164	9.4164	2.3541	8.75	0.000
Error	20	5.3797	5.3797	0.2690		
Total	24	14.7961				

S = 0.518635 R-cuad. = 63.64% R-cuad.(ajustado) = 56.37%

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

Nivel de pelet	N	Media	Agrupación
0	5	4.7	A
25	5	4.2	A B

50	5	3.6	B C
75	5	3.5	B C
100	5	2.9	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis de regresión polinomial: ButiricomM/l vs. Nivel de pelet

La ecuación de regresión es

$$\text{ButiricomM/l} = 4.684 - 0.02109 \text{ Nivel de pelet} + 0.000040 \text{ Nivel de pelet}^2$$

S = 0.503322 R-cuad. = 62.3% R-cuad.(ajustado) = 58.9%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	9.2228	4.61139	18.20	0.000
Error	22	5.5733	0.25333		
Total	24	14.7961			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	9.18010	37.60	0.000
Cuadrática	1	0.04268	0.17	0.685

Modelo lineal general: Producción total vs. Nivel de pelet

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Nivel de pelet	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para Producción total, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Nivel de pelet	4	152.157	152.157	38.039	13.88	0.000
Error	20	54.820	54.820	2.741		
Total	24	206.977				

S = 1.65560 R-cuad. = 73.51% R-cuad.(ajustado) = 68.22%

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

Nivel de pelet	N	Media	Agrupación
75	5	30.6	A
25	5	26.7	B
50	5	26.6	B
0	5	24.8	B C
100	5	23.2	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis de regresión polinomial: Producción total vs. Nivel de pelet

La ecuación de regresión es

Producción total = 24.17 + 0.1671 Nivel de pelet - 0.001642 Nivel de pelet**2

S = 2.45874 R-cuad. = 35.7% R-cuad.(ajustado) = 29.9%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	73.978	36.9889	6.12	0.008
Error	22	132.999	6.0454		
Total	24	206.977			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	0.2700	0.03	0.864
Cuadrática	1	73.7079	12.19	0.002

Modelo lineal general: pH vs. Nivel de pelet

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Nivel de pelet	fijo	5	0, 25, 50, 75, 100

Análisis de varianza para pH, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Nivel de pelet	4	0.78110	0.78110	0.19527	8.36	0.000
Error	20	0.46732	0.46732	0.02337		

Total 24 1.24842

S = 0.152859 R-cuad. = 62.57% R-cuad.(ajustado) = 55.08%

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

Nivel de

pelet	N	Media	Agrupación
100	5	7.1	A
0	5	7.1	A
25	5	6.8	B
75	5	6.8	B
50	5	6.7	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis de regresión polinomial: pH vs. Nivel de pelet

La ecuación de regresión es

$\text{pH} = 7.111 - 0.01661 \text{ Nivel de pelet} + 0.000167 \text{ Nivel de pelet}^2$

S = 0.149106 R-cuad. = 60.8% R-cuad.(ajustado) = 57.3%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	0.75930	0.379650	17.08	0.000
Error	22	0.48912	0.022233		
Total	24	1.24842			

Análisis de varianza secuencial

Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	0.000098	0.00	0.966
Cuadrática	1	0.759201	34.15	0.000

