

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Efecto de la adición de tres productos peletizados elaborados a base de subproductos agroindustriales en la producción de ácidos grasos volátiles en ovinos.

Por:

JESÚS NIEVES VELÁZQUEZ

TESIS

**Presentada como Requisito parcial para
obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México. Febrero de 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Efecto de la adición de tres productos peletizados elaborados a base de subproductos agroindustriales en la producción de ácidos grasos volátiles en ovinos

Tesis

Presentada por:

JESÚS NIEVES VELÁZQUEZ

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

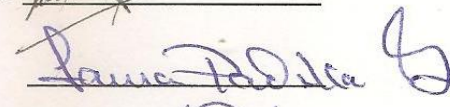
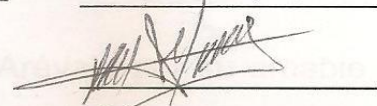
El presente trabajo ha sido evaluado y aprobado por el siguiente comité

Asesor principal: Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Asesor: Dr. José Dueñes Alanís

Asesor: M.C. Laura E. Padilla González

Suplente: Dr. Alberto Guerrero Rodríguez



Coordinador de la División de Ciencia Animal



Dr. Ramiro López Trujillo

AGRADECIMIENTOS

A Dios por prestarme la vida, por permitirme culminar esta nueva etapa de mi vida, por darme la fe y apoyo durante mi vida, en donde le agradeceré infinitamente su bendición desmedida a mi persona. Por haberme dado unos padres maravillosos, ejemplares y excepcionales, junto a mis hermanos, abuelos, tíos, primos y sobrinos.

A mi casa de estudios la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por formarme profesionalmente, cobijarme y brindarme esta incomparable oportunidad en la vida.

A mi asesor principal la Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez por su apoyo y confianza en mí, que de manera conjunta lo hizo con el Dr. Alberto Guerrero Rodríguez, Dr. José Dueñas Alanís y la MC. Laura E. Padilla González, pero especialmente por su dedicada atención, por compartir sus conocimientos y su valiosa cooperación para este proyecto.

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

A mis compañeros en este trabajo: Alberto Guerrero, Pedro Guerrero, Karina Castillo, Miguel A. Barrientos y Alejandro Cumplido.

A mis compañeros y amigos del Equipo Internacional de Identificación de Plantas de Pastizales (EIIPP): Al Dr. Juan Manuel entrenador del equipo, que compartió sus conocimientos con nosotros, por su disciplina y enseñanza. A Franco (Francisco), Piloto (Juve), Berni (Bernabé), Amanda, Gabriela, Cheo (Eliseo), Adán, Carlos, Monse, Deyse, Gerardo (Lalo), Antonio E. (el Compi), Iris, Jaime (Roro), Yamil y Xochitl por su compañía durante mi permanencia en el equipo.

A mis compañeros y amigos de la Carrera: Avenita (Mario Alberto), Franco (Francisco F.), Piloto (Juventino S.M.), Berni (Bernabé) y Gaby (Gabriela M.) por darme su apoyo, confianza, amistad y compañía en la Narro.

A usted mi estimada Ing. Yuri M.R. por su apoyo, compañía, confianza, cariño, cuidado y por los momentos de alegría que hemos convivido, le agradeceré mucho siempre.

DEDICATORIA

A mis padres: Emilio J. Nieves R. y Ma. Aida Velázquez P. por darme la oportunidad de vivir, por brindarme desmedidamente amor, cariño, aprecio, confianza y apoyo para mi formación profesional, por siempre estar junto a mí. Por sus desvelos, corajes, preocupaciones y todos sus sacrificios que han hecho durante su vida por mí. Por compartir su experiencia en la vida y sobre todo por enseñarme que la felicidad se vive todos los días de la vida y por enseñarme a nunca rendirme.

A mis abuelos: Ángeles (†) y Fabio, Teresa y Nicolás (†), que aunque unos de ellos ya no están físicamente los llevo a donde quiera que voy. Desde aquí les dedico este logro y les agradezco por cuidarme...y de la tunda que papás me iban a dar por travieso.

Al bisabuelo Eleodoro porque desde que me viste cuando niño, confiaste en mi que llegaría hasta aquí...y aun más lejos.

A mis hermanos: J. Luis; M. Estela; Yolanda y Emmanuel por su apoyo desmedido, a quien les dedico este logro y que comparten esta alegría conmigo. Porque han confiado en mí y que se han ocupado por mí.

A mis tíos: Jabón; Bodo; Monti; Baldo; Nany y demás tíos que me han apoyado en todo momento y por haber creído en mí. Por sus sinceros consejos, por motivarme para salir adelante.

A ti...

RESUMEN

En los sistemas de producción animal el tema de la alimentación toma cierta relevancia debido a que mayormente en alimentación se realizan fuertes inversiones diariamente. Actualmente este tópico preocupa al sector pecuario, la escases de alimentos y su alto costo mantienen a borde a productores, existen industrias que generan subproductos que pueden ser utilizados mediante un proceso cuidadoso para su transformación y/o preparación para la alimentación animal, buscando que éstas cubran las necesidades nutricionales de los animales procurando obtener una excelente respuesta biológica y eficiencia económica.

La industria de la cervecería genera subproductos como lo es la masilla o granos de cervecería y levadura que actualmente tienen poco uso, mismos que al mezclarse con otros ingredientes ofrecen una excelente alternativa en la alimentación animal.

El procesar estos subproductos mediante el peletizado hace que dichos subproductos hagan evidente sus características fisicoquímicas para ser aprovechados, siendo el peletizado hoy en día una alternativa para la alimentación animal siempre y cuando el producto final tenga estabilidad y alto potencial productivo. Para tal efecto se llevó a cabo un estudio con el objetivo de evaluar parte de la respuesta animal de ovinos alimentados con tres productos peletizados con diferentes niveles de masilla y levadura de cerveza: PM (20 %masilla), PL (15% de levadura), PML (18% de masilla y 5% de levadura). La inclusión de productos peletizados a base de diferentes combinaciones de subproductos para ovinos produjo efectos significativos ($P < 0.05$) sobre los niveles de ácido acético (24.8 mM/l y 24.3 mM/l), propiónico (7.0 mM/l y 7.3 mM/l) y butírico (6.2 mM/ y 4.9 mM/) cuando se adicionó PM y PL respectivamente. Por su parte los niveles de pH fueron más altos ($P < 0.05$) cuando se adicionó el pelet de masilla o el de levadura en relación al tratamiento testigo y al pelet que combinó masilla y levadura, obteniéndose que los mejores resultados en las concentraciones de ácidos grasos, principalmente para ácido acético y propiónico, se obtienen cuando se utiliza PM (20% masilla) o PL (15 % de levadura). Por otro lado el utilizar PM o PL parece regular el pH ruminal, concluyéndose que PM y PL pueden mejorar los parámetros

ruminales, que desde el punto de vista productivo aumentan los rendimientos y algunos parámetros de la canal (rendimiento y deposición de grasa). Por lo tanto se puede inferir que el empleo de cualquiera de estos productos peletizados permite disminuir costos por concepto de alimentación, por lo que evidentemente representan una alternativa viable como ingrediente en la alimentación de ovinos.

Palabras clave: Subproductos agroindustriales, Pelet, masilla, levadura, AGV.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| I.- INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Justificación | 2 |
| 1.2 Objetivo general | 3 |
| 1.2.1 Objetivos específicos | 3 |
| 1.3 Hipótesis | 3 |
| II.- REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 EL PELETIZADO | 4 |
| 2.2 SUBPRODUCTOS DE CERVECERÍA..... | 4 |
| 2.2.1 Masilla | 5 |
| 2.2.2 Levadura | 6 |
| 2.3 BENEFICIOS DEL USO DE LEVADURAS EN RUMIANTES | 6 |
| 2.4 MEDIO AMBIENTE RUMINAL | 7 |
| 2.4.1 Microorganismos ruminales..... | 7 |
| 2.4.1.2 Bacterias | 7 |
| 2.4.1.3 Protozoarios | 8 |
| 2.4.1.4 Hongos..... | 8 |
| 2.4.2 FERMENTACIÓN RUMINAL | 9 |
| 2.4.2.1 Carbohidratos..... | 10 |
| 2.4.2.2 Proteínas..... | 10 |
| 2.4.2.3 Lípidos..... | 11 |
| 2.4.2.4 Producción de gas..... | 12 |
| 2.4.3 Síntesis de vitaminas | 12 |
| 2.5 ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.5.1 Producción de ácido acético..... | 13 |
| 2.5.2 Producción de ácido propiónico | 14 |
| 2.5.3 Producción de ácido butírico | 15 |
| 2.6 Productos que dan origen a los AGV's | 15 |
| 2.7 Absorción de los Ácidos Grasos Volátiles..... | 16 |
| 2.8 Factores que afectan la producción de AGV'S | 17 |
| III.- MATERIALES Y MÉTODOS..... | 19 |
| 3.1 Descripción del área de estudio | 19 |
| 3.2 Elaboración de las muestras experimentales | 19 |
| 3.3 Análisis de las muestras..... | 19 |
| 3.4 Alimentación..... | 20 |
| 3.5 Tratamientos | 23 |
| 3.6 Instalaciones y equipo..... | 23 |
| 3.7 Servicio de alimento | 23 |
| 3.8 Variables a evaluar en el experimento | 23 |
| 3.9 Determinación de AGV's..... | 24 |
| 3.10 Extracción de líquido ruminal | 24 |
| 3.11 Metodología..... | 24 |
| 3.12 Diseño estadístico | 24 |
| IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| V.- CONCLUSIONES | 27 |
| VI.- LITERATURA CITADA | 28 |
| VII.- APÉNDICE | 33 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 3.1.- Formulas alimenticias utilizadas para la elaboración de los productos peletizados a base de subproductos agroindustriales. | 20 |
| Cuadro 3.2.- Fórmulas alimenticias utilizadas durante la primera etapa de la prueba de comportamiento en ovinos..... | 21 |
| Cuadro 3.3.- Formulas alimenticias utilizadas durante la segunda etapa de la prueba de comportamiento en ovinos..... | 22 |
| Cuadro 3.4.- Tratamientos en porcentaje (%). | 23 |
| Cuadro 4.1.- Concentraciones de los ácidos grasos volátiles y pH en líquido ruminal de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos de cervecería. | 25 |

I.- INTRODUCCIÓN

El alimento representa el principal costo de la producción animal. Por lo tanto, es imperativo suministrar una dieta adecuada desde el punto de vista nutricional y preparar una ración de manera que favorezca el consumo sin desperdicio y se permita una alta eficiencia en la utilización del alimento.

El procesamiento de los alimentos se puede realizar mediante la alteración física, química, térmica, bacteriana u otra de un ingrediente alimentario antes de suministrarlo. Los alimentos se pueden procesar para alterar su forma física o el tamaño de las partículas, conservarlos, aislar partes específicas, mejorar la aceptabilidad o la digestibilidad, modificar composición de nutrientes o eliminar sustancias tóxicas (Church Pond & Pond, 2010), representando el peletizado una excelente alternativa.

Dentro del sector agroindustrial existen subproductos agroindustriales que no son utilizados de manera eficiente, mismos que son una alternativa para la alimentación de los animales rumiantes, esto, debido a sus bajos costos y a su alto valor nutritivo (Guerrero, 2011). Tal es el caso de los subproductos de la industria cervecera como lo es la masilla y levadura.

Una característica importante de los rumiantes es que son los únicos animales que se pueden alimentar de cualquier tipo de material vegetativo desde el más tierno hasta el más fibroso así como también de alimentos concentrados, es decir, que transforman la celulosa, hemicelulosa, lignina, carbohidratos, etc. a compuestos más simples que proveen de energía a su organismo, tales como los ácidos grasos volátiles. Para concretar lo anterior, en el rumen se encuentran poblaciones densas de microorganismos en una gran variedad de bacterias, hongos y protozoos que son responsables de los procesos digestivos que tienen lugar en dicho órgano (Hungate, 1966).

Es de suma importancia el papel que juega el rumen ya que este funge como una cámara de descomposición de los alimentos que previamente el animal ha consumido, el rumen provee de las óptimas condiciones para que los microorganismos funcionen bien. Es en este sentido, que los microorganismos deberán de trabajar formando una sinergia y simbiosis con el animal para degradar las moléculas complejas en moléculas más simples tales como el ácido acético, propiónico y butírico, entre otros, los cuales son absorbidos y asimilados por diferentes rutas metabólicas, para proveer de energía al animal.

1.1 Justificación

Actualmente el costo de los alimentos debido a la crisis económica por la que atraviesa nuestro país, crea un reto el adquirir insumos para la alimentación animal, siendo los subproductos agroindustriales una alternativa para sustituir a los alimentos convencionales de alto costo. Lo anterior representa una alternativa para aprovechar residuos agroindustriales como lo es para este caso la levadura y los residuos de granos de cervecería (masilla). Guerrero (2011), señala que debido a su disponibilidad, bajo costo, impacto ecológico y a las diversas propiedades nutricionales encontradas en estos subproductos y que en hoy en día no se aprovechan de la mejor manera, ya que existen limitantes para su uso, uno de ellos es su presentación física (tamaño de partícula y contenido de humedad) teniendo su mayor desventaja al momento de su manejo alimenticio y almacenamiento. Una alternativa para su uso es mediante su procesado y posterior peletizado.

1.2 Objetivo general

- Evaluar la respuesta animal en la producción de ácidos grasos volátiles de ovinos alimentados con tres productos peletizados elaborados a base de subproductos agroindustriales.

1.2.1 Objetivos específicos

- Evaluar del perfil ruminal (concentración molar de ácido acético, propiónico, butírico y pH) de ovinos al ser alimentados con productos peletizados a base de subproductos agroindustriales.
- Seleccionar la combinación de subproductos de cervecería (granos de cervecería y levadura) que mejor resultados genera desde el punto de vista biológico.

1.3 Hipótesis

El producto peletizado a base de subproductos agroindustriales incrementará la producción de ácidos grasos volátiles (AGV's), impactando así la eficiencia biológica animal y productiva.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL PELETIZADO

El proceso de peletizado provee beneficios físicos debido a que hay menor desperdicio en el alimento, incremento en la densidad, y provee beneficios nutricionales que hacen que el animal tenga una mejor disponibilidad de los nutrientes (Falk, 1985). La acción del calor, la presión y la humedad (proceso de peletizado), desorganiza la estructura de los almidones, gelatinizándose, lo que mejora la digestibilidad del alimento (Pané, 1993). El proceso de molienda de granos no aumenta su digestibilidad potencial, pero cuando no se muelen y escapan a la masticación frecuentemente son excretados sin digerir, reduciéndose en esta forma su disponibilidad (Camps y Gonzalez, 2003), siendo el peletizado una alternativa en la alimentación animal.

El peletizado, al igual que la molienda de forrajes y otros alimentos, tiende a aumentar el consumo voluntario y en algunos casos reduce la digestibilidad de las raciones (Guerrero, 2010).

2.2 SUBPRODUCTOS DE CERVECERÍA

Existen distintos subproductos provenientes de esta industria, siendo los más comunes la levadura (seca y húmeda) y los granos de destilería, principalmente cebada con mezclas de maíz y en algunos casos arroz (seco, húmedo o ensilado) (Calsamiglia, 2004).

Estos subproductos son en general muy apetecibles, ricos en proteína con una degradabilidad intermedia y son considerados, desde el punto de vista nutricional, como un interesante ingrediente en raciones para vacas lecheras (Miazzo y Kratf, 1998).

2.2.1 Masilla

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

Guerrero (2010), señala que la masilla contiene de 75 a 80 por ciento de agua al finalizar el filtrado. Kayouli y Lee (1998) reportan que el alto contenido de humedad de la masilla provoca que el uso de la misma en la alimentación animal sea inmediato, o bien que sea necesario almacenarla en un ambiente anaerobio debido a su fácil descomposición.

Satter y Whitlow, (1977) mencionan que la proteína de este subproducto ha sido reportada como resistente a la degradación ruminal. Lo que le confiere a este subproducto de cervecería dos detonantes ventajas como fuente de proteína para los rumiantes:

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

2.2.2 Levadura

Procede de la separación de la cerveza después de la fermentación de la malta. Puede comercializarse en forma húmeda y prensada, en cuyo caso las levaduras tienen un elevado contenido de proteína (46%) de alta digestibilidad, así como un adecuado perfil de aminoácidos esenciales (especialmente lisina y treonina), por lo que constituye una buena fuente proteica. Tienen un contenido apreciable de fibra soluble, así como pequeñas cantidades de FND, almidón y azúcares como residuos del grano de cebada fermentado. Es una fuente de vitaminas del grupo B, en especial biotina y ácido fólico, y tiene un elevado contenido en fósforo pero bajo en calcio (De Blas, 2010).

A si mismo señala que a pesar de su sabor amargo, por la presencia de restos de lúpulo, la levadura tiene elevada palatabilidad en todas las especies.

2.3 BENEFICIOS DEL USO DE LEVADURAS EN RUMIANTES

Alvarado, (2011) menciona que el modo de acción de la levadura para uso animal tiene tres grandes principios:

- a) La actividad respiratoria de la levadura (exclusivo de organismos vivos) consume el oxígeno presente en el rumen y reduce el efecto negativo que éste tiene sobre la población de microorganismos estrictamente anaerobios.
- b) El segundo principio demostrado en diversos estudios científicos donde la presencia de levadura viva en el sistema digestivo de los animales provoca un fenómeno llamado exclusión competitiva en la cual ciertas bacterias capaces de provocar enfermedades se adhieren a la superficie de las levaduras (esto gracias a un azúcar que forma la pared de la levadura) eliminando así una cantidad importante de microorganismos nocivos y permitiéndole al animal defenderse de forma más efectiva.

- c) El tercer mecanismo ocurre gracias a un componente que se encuentra en la pared externa de la levadura que se llama betaglucano, el cual estimula el sistema de defensa del organismo, esto a su vez permite que cuando ocurra un ataque real, el animal responda rápidamente y de manera más eficiente. Esto en la práctica representa una reducción en la mortalidad, recuperación de los animales enfermos más fácilmente y en menor tiempo y una mejoría notable en la salud general del hato, lo que significa aumentar la rentabilidad de empresa.

2.4 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°-40°C., es muy cercana a la óptima para la mayoría de los sistemas enzimáticos (Hungate, 1966).

El alimento llega hasta el rumen en una forma más o menos constante y es mezclado por las concentraciones de las paredes ruminales, lo que permite que los microorganismos entren en contacto con los alimentos recién ingeridos o regurgitados y vueltos a masticar y humedecer (Baldwin, 1965).

La reinsalivación de los alimentos durante la rumia, en combinación con el agua que llega al rumen, y las secreciones del mismo, proveen una humedad relativa favorable para muchos microorganismos (Annison, 1965).

Además, los productos finales de las reacciones fermentativas son eliminados del medio, ya sea por su absorción de la mucosa del retículo-rumen, o bien por el paso a los siguientes compartimentos, evitando de esta manera la saturación del medio y la consecuente inhibición del crecimiento bacteriano (Meyer *et al.*, 1965).

2.4.1 Microorganismos ruminales

2.4.1.2 Bacterias

Cada mililitro de contenido ruminal alberga alrededor de 10 000 a 50 000 millones de bacterias, siendo estos los microorganismos más abundantes. Las bacterias se encuentran en una gran variedad de géneros y especies por lo menos 28 especies

funcionalmente importantes las cuales se agrupan de acuerdo a su actividad (Nava y Díaz, 2001).

La mayoría de las bacterias son anaerobias estrictas, que no pueden sobrevivir en presencia de oxígeno, sin embargo también se encuentran presentes organismos facultativos (Nava y Díaz, 2001).

2.4.1.3 Protozoarios

La población de protozoarios en el rumen es menor a la de las bacterias, encontrándose en concentraciones de 1 millón por ml de contenido ruminal, aunque su número es menor en comparación con las bacterias, estos microorganismos tienen un mayor volumen individual, dando lugar a una masa celular de protozoarios semejante a la masa de las bacterias (Nava y Díaz, 2001).

Si bien la mayoría de los protozoarios son ciliados, existen también protozoarios flagelados. Los protozoarios consumen y metabolizan azúcares solubles, hidrolizan bacterias como sustrato logrando con esto limitar el crecimiento bacteriano (Nava y Díaz, 2001).

Nava, C.C. y Díaz, C. A., (2001) mencionan que un papel particularmente importante de los protozoarios, es su capacidad para frenar la digestión de los sustratos que se fermentan con rapidez, como el almidón y las proteínas almacenándolos y protegiéndolos de la acción microbiana.

2.4.1.4 Hongos

En el rumen existen también hongos anaerobios, conocidos desde 1974, en una concentración de 10^3 a 10^5 por ml de fluido ruminal ejemplos de estos lo constituyen: *Neocallimástix frontalis*, *Sphaeromonas communis*, *Piromonas communis*, *Orpinomyces*. Es bien conocido que la población de hongos anaerobios del rumen está directamente relacionada con el contenido en fibra de la dieta, y su proporción disminuye en dietas ricas en almidón o azúcares solubles (Grenet, *et al.*, 1989).

Los hongos que se encuentran en el rumen tienen la capacidad de fermentar polisacáridos (celulosa), calculándose que más del 8% de la biomasa microbiana del rumen está constituida por éstos (Nava y Díaz, 2001).

Los hongos ruminales tienen capacidad enzimática de hidrolizar celulosa y xilano, no siendo así con la pectina (Fonty, *et al.*, 1991 y Hébraud, *et al.*, 1988).

Lógicamente, su actividad enzimática frente a estos sustratos es variable dependiendo de su origen filogenético, en especial de su estructura rizoidal, pero se ha postulado que algunas especies, como *Neocallimástix frontalis*, *Piromyces comunis* y *Orpinomyces joyonii* son tanto o incluso más eficientes en la digestión de los polisacáridos estructurales como las especies bacterianas más activamente celulolíticas (Grenet, *et al.*, 1989).

2.4.2 FERMENTACIÓN RUMINAL

El rumen es una cámara de fermentación anaerobia. La población microbiana se mantiene al ingerir y masticar los alimentos con regularidad, añadiendo tampones y eliminando los ácidos producidos, arrastrando los residuos alimenticios no digeribles y los productos microbianos, y manteniendo unas condiciones apropiadas de pH, temperatura y humedad para el crecimiento bacteriano. Estos microorganismos dependen del rumiante para disponer de las condiciones óptimas para su crecimiento, y el rumiante depende de los productos de fermentación del alimento fibroso que ingiere y de la actividad biosintética microbiana, para cubrir sus propias necesidades nutritivas (Yakohama y Johnson, 1988).

El metabolismo del rumiante está enfocado en aprovechar los productos de la fermentación como los ácidos grasos volátiles (AGV), sin embargo, no todos los productos de fermentación son útiles para el rumiante, como el metano, o incluso nocivos como el amoníaco y los nitratos (Goetsch y Owens, 1986).

2.4.2.1 Carbohidratos

Los carbohidratos constituyen la proporción más importante de la dieta de los animales herbívoros. En el rumen de un animal alimentado con cantidades bajas de alimento (es decir, con una dieta de mantenimiento o de sostén), fundamentalmente 100% de los carbohidratos aprovechables con facilidad (CAF) será fermentado por los microorganismos del rumen. Los principales productos finales de la fermentación son los ácidos grasos volátiles (principalmente acético, propiónico y butírico), bióxido de carbono, metano y calor. A su vez, el animal utiliza los ácidos grasos volátiles como fuente de energía para efectuar sus procesos vitales (Church y Pond, 2007).

Los carbohidratos más abundantes en las raciones para rumiantes son polisacáridos, celulosa, hemicelulosa, pectinas, fructanas y almidones. En base a materia seca, la celulosa puede alcanzar de 20 a 30% de los carbohidratos, las hemicelulosas de 14 a 17% y las pectinas hasta 10% (Corbett, 1969).

Church y Pond, (2007) y Corbett, (1969) coinciden en que el azúcar es la fuente más importante de energía para que se lleve a cabo el metabolismo celular. Los carbohidratos fibrosos también son fermentados por microorganismos del rumen y los productos finales son los mismos, aunque normalmente se produce menos ácido propiónico que en el caso de los de los CAF. Puesto que los tejidos animales no producen celulasas ni hemicelulasas, la fermentación microbiana es el único medio con el que cuentan los animales para utilizar de manera indirecta dichos carbohidratos complejos.

La capacidad del animal para digerir cantidades grandes de azúcares (particularmente sacarosa) o almidones es baja debido a la producción limitada de las enzimas apropiadas (Church y Pond, 2007).

2.4.2.2 Proteínas

Algunas bacterias del rumen requieren aminoácidos o péptidos, y la mayor parte de los protozoarios ciliados probablemente deben ingerir bacterias para sobrevivir, la

mezcla en conjunto por lo general no responde de esta manera. Existen varios organismos proteolíticos que atacan a las proteínas de la dieta, con el resultado de que una cantidad considerable de ellas es degradada a amoníaco y ácidos orgánicos. A su vez, éstos son utilizados por otras especies microbianas para sintetizar aminoácidos y proteínas bacterianas. La mayoría de las bacterias que digieren celulosa requieren amónico. El resultado neto de alimentar con proteínas vegetales (o animales) es que una porción considerable de ellas es degradada y se utiliza para sintetizar nuevas proteínas microbianas (Church y Pond, 2007).

Church y Pond, (2007) mencionan que en el caso de la alimentación de los rumiantes, muchas veces las proteínas pueden ser sustituidas por urea u otras fuentes de nitrógeno no proteínico competitivas desde el punto de vista económico.

La proteína de la dieta también puede contribuir a la producción de ácidos grasos volátiles, especialmente en aquellas raciones con un contenido proteico elevado (Hidalgo, 2012).

Los resultados de investigaciones recientes sugieren que la solubilidad y la capacidad de degradación de las fuentes de proteína son importantes para los rumiantes que se espera den un rendimiento alto (Church y Pond, 2007).

2.4.2.3 Lípidos

El consumo de lípidos por animales herbívoros es bajo a causa de que la mayoría de los forrajes contienen sólo cantidades limitadas de dichos compuestos (Church y Pond, 2007).

Church y Pond, (2007) señalan que en el rumen, los microbios no alteran gran cosa de la fracción grasa, aunque se sintetizan algunos lípidos. Cuando en la dieta se suministran cantidades de grasa de bajas a moderadas, los microorganismos del rumen hidrolizan la grasa, produciendo ácidos grasos libres y glicerol. Los microbios ruminales modifican los ácidos grasos, ya sea saturándolos o haciendo cambios en la localización de los dobles enlaces, o bien transformando el enlace *cis* normal en un doble enlace *trans*.

La población microbiana del rumen no tolera niveles altos de grasa de los alimentos. Cuando se agrega grasa a la dieta, se administra a no más de 5 a 7% de la dieta total. Las proporciones más altas dan como resultado una fermentación anormal en el rumen a menos que se proteja la grasa de los organismos recubriendo las gotitas de grasa con caseína y posteriormente con formaldehído (Church y Pond, 2007).

2.4.2.4 Producción de gas

Las fermentaciones anaerobias como las que tienen lugar en el rumen producen una gran cantidad de gases. Una composición característica de los gases es: 65% de bióxido de carbono, 25 a 27% de CH₄, 7% de N₂ y cantidades muy pequeñas de O₂, H₂, y H₂S. El metano, que tiene un alto equivalente calorífico, constituye para el animal una pérdida directa de energía. Este gas se produce en la fermentación anaerobia como un medio de eliminar el exceso de hidrógeno (Church y Pond, 2007).

2.4.3 Síntesis de vitaminas

Los microorganismos tienen la capacidad de sintetizar prácticamente todas las vitaminas del complejo B que requiere el animal hospedante. La cantidad que se sintetiza en el rumen es probablemente mayor que la sintetizada en la porción posterior del aparato digestivo (Church y Pond, 2007).

En resumen, a través de la fermentación ruminal, el rumiante obtiene los nutrientes necesarios para el mantenimiento de sus funciones biológicas vitales (Nava y Díaz, 2001).

2.5 ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES

Los ácidos grasos consisten en dos cadenas de átomos de carbono que varían de entre 2 a 24 unidades o más de longitud; en el extremo de cada cadena hay un grupo carboxilo. La estructura general es RCOOH, donde R es una cadena de carbono de longitud variable (Pond, *et al.*, 2010).

Los ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato y butirato) son los productos finales de la fermentación microbiana anaeróbica de los carbohidratos en el tracto gastrointestinal de rumiantes (Tagan, *et al.* 2010).

Los animales rumiantes producen estos ácidos con ayuda de los microorganismos presentes en el rumen, (protozoos, hongos, bacterias), los cuales se encargan de la degradación de los alimentos y estos a su vez producen los ácidos grasos volátiles.

Su concentración total varía ampliamente de acuerdo con las raciones de los animales y el tiempo transcurrido desde la última comida, pero normalmente se sitúa en el intervalo de 70-150 Mmol/l (equivalentes a 5 a 10 g/l). También varían las proporciones relativas de los distintos ácidos. Los forrajes fibrosos maduros originan mezclas de AGV's que contienen una elevada proporción (cerca del 70%) de ácido acético, los forrajes menos maduros tienden a producir proporciones algo menores de ácido acético y mayores de ácido propiónico.

La adición de concentrados a los forrajes, también hace aumentar la proporción de ácido propiónico a expensas del ácido acético, siendo especialmente apreciable este efecto en raciones que incluyen gran cantidad de concentrados (60%) (McDonald, *et al.*, 1995).

2.5.1 Producción de ácido acético

Por lo que respecta al ácido acético, el papel que juega y que es determinante para la producción de leche, ya que ésta puede aumentarse con el resultado de un incremento en la absorción de ácido acético a través del rumen, pero no así con el aumento de propiónico o butírico (Rook y Balch, 1961). Esto repercute en la cantidad de leche, el contenido de sus principales componentes y en forma especial de la grasa, ya que aproximadamente el 50% de los ácidos grasos, sobre todo aquellos con menos de 16 carbonos, se originan a partir del ácido acético (Annison y Linzell, 1964).

Zavaleta, (2007) describe que 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 distinta manera según las bacterias que realicen la fermentación, los clostridios transfieren los electrones liberados a protones que se separan como hidrógeno molecular, otras los transfieren al CO₂ produciendo ácido fórmico y otras más lo utilizan para hidrogenar ácidos grasos.

Además hay bacterias, como las propionibacterias que al oxidar el ácido pirúvico hasta acético no liberan hidrogeno, sino que éste es utilizado para formar ácido propiónico simultáneamente.

A su vez el ácido fórmico sufre oxidación rápida en el rumen, en la que interviene una deshidrogenasa fórmica asociada a ferredoxina. Esta oxidación produce hidrógeno y CO₂ (Zavaleta, 2007).

2.5.2 Producción de ácido propiónico

Este ácido graso volátil es el único que el hígado puede transformar en glucosa mediante la gluconeogénesis, y se distribuye a través de torrente sanguíneo y llega al músculo y de esta forma está muy ligado con la producción de carne. La proporción de glucosa que se puede obtener a partir del ácido propiónico varía de entre un 19% a 62% (Steel y Leng, 1973).

Zavaleta, (2007) menciona que 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 succinonato. 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.

2.5.3 Producción de ácido butírico

El ácido graso volátil que más se produce en cantidad es el acetato. Es el producto típico de rumiantes consumiendo forraje y dependen del tipo de microorganismos presentes. La celulosa y hemicelulosa son los principales carbohidratos de los forrajes y su presencia en el rumen induce el crecimiento de las poblaciones de bacterias celulolíticas, hemicelulolíticas y metagénicas. Cuando se agregan concentrados a la dieta, estamos agregando almidón que es un carbohidrato de fácil digestión; esto induce el crecimiento de una flora amilolítica que está asociada a un cambio de pH en el rumen (Tweedie *et al.*, 1966).

En el rumen se puede sintetizar este ácido a partir del acético o de sustancias capaces de formar Acetil-CoA, como el ácido pirúvico (Zavaleta, 2007).

2.6 Productos que dan origen a los AGV's

Zavaleta, (2007) menciona que los carbohidratos constituyen la mayor parte de la ración alimenticia de los rumiantes y por lo mismo, son la fuente principal de energía, tanto para los microorganismos como para el rumiante que los ingiere, mismos que son más abundantes en las raciones para rumiantes.

La proteína de la dieta también puede contribuir a la producción de ácidos grasos volátiles, especialmente en aquellas raciones con un contenido proteico elevado. Su participación es a través de la degradación de los ácidos aminados hasta metabolitos capaces de convertirse en ácidos grasos volátiles. Sin embargo, se carece de datos cuantitativos al respecto.

Los productos que se obtienen al final del proceso fermentativo dependen, en parte, del tipo de microorganismos presentes en un momento dado en el rumen, ya que los compuestos que algunas bacterias tienen como productos finales pueden ser utilizados por otros para su metabolismo. 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, 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 fermentan las bacterias siguiendo la vía catabólica de la glucólisis. Uno de los compuestos clave en este proceso degradativo es el ácido pirúvico que aparece en concentración baja en el líquido ruminal a partir de la cual se obtienen los distintos ácidos grasos volátiles.

2.7 Absorción de los Ácidos Grasos Volátiles

Los ácidos grasos que se liberan en el rumen son aprovechados en parte por las bacterias, que los utilizan para sintetizar algunos de los componentes estructurales (Zavaleta, 2007).

El resto es absorbido en su mayoría a través de la pared del rumen (Barcroft, 1994), realizándose por medio de difusión simple, es decir, siempre que el gradiente de concentración sea favorable para ello; aquellos que no son absorbidos a este nivel pasan al omaso y abomaso en donde también hay absorción (Zavaleta, 2007).

El orden en que se absorben los ácidos en corderos y terneros corresponde a la secuencia: butírico > propiónico > acético (Sutton, 1970). En el abomaso la absorción se realiza prácticamente a la misma velocidad que en el retículo rumen (Williams, 1968). En cambio el ácido láctico, que normalmente no se produce en gran cantidad en rumen, parece ser absorbido más bien lentamente (Zavaleta, 2007).

Se ha observado que la absorción a través de la pared del rumen es más efectiva en aquellas superficies que poseen un gran número de papilas y ha habido investigadores que han establecido que existe una correlación entre la longitud relativa de las papilas en el saco ventral del rumen y la ganancia de peso por el animal (Zavaleta, 2007).

La absorción de los ácidos grasos es afectada por el pH en el medio. Si se alcaliniza el contenido ruminal, la absorción se reduce (Bloomfield, 1963), en cambio cuando el medio es acidificado la absorción aumenta (Zavaleta, 2007)

Al absorberse los AGV, se está eliminando ácido del medio ruminal, y el proceso de absorción ruminal además está acompañado por la secreción de bicarbonato hacia el rumen. La absorción de AGV tiene entonces un efecto doble: elimina ácidos y agrega bases. Para aumentar la superficie de absorción el epitelio del rumen presenta papilas. El crecimiento de las papilas es inducido por los AGV (Van y Regueiro, 2008).

2.8 Factores que afectan la producción de AGV'S

En el rumen, la producción de los ácidos grasos volátiles depende de la composición de la ración, la actividad microbiana, el pH del medio y la frecuencia de ingestión de alimentos.

En general, las raciones a base de forraje producen menos cantidad de ácidos grasos volátiles, en contraposición con aquellas a base de concentrados de alto contenido de proteínas o de carbohidratos fácilmente fermentables. La mayor concentración de ácidos grasos volátiles en el rumen se observa después de que han transcurrido de 3 a 6 horas de la ingestión del alimento, si este es ofrecido una sola vez al día.

La producción de ácidos grasos volátiles disminuye conforme aumenta el pH del rumen. La proporción de cada uno de los ácidos grasos volátiles en la mezcla varía con la calidad, cantidad y aun la textura de los componentes de la ración alimenticia; el sustrato predominante en la ración tiene una influencia marcada (Zavaleta, 2007).

Si el forraje se da al animal finamente picado, la proporción de ácido acético se ve disminuida en relación a los otros ácidos.

Zavaleta, (2007) menciona que por lo general, la adición de concentrados a las raciones a base de forraje causa una disminución en la concentración de ácido acético, que es compensada con un aumento en la de propiónico o de butírico. Este efecto no es constante, ya que se presentan variaciones entre individuos y de un concentrado a otro. El aumento en ácido propiónico se observa cuando la cantidad de concentrado adicionada es elevada y su composición es a base de granos con gran cantidad de

almidón, especialmente si han sido tratados previamente con calor. La adición de concentrados disminuye la producción de metano.

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. La actividad microbiana en el rumen, que es la responsable de la digestión a este nivel y finalmente de la producción de los distintos ácidos grasos, depende de la adaptación de los microorganismos a la ración alimenticia del animal. Esta adaptación ayuda a determinar la digestibilidad de las diferentes raciones (Zavaleta, 2007).

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó en la Unidad Metabólica e Investigación y en el Laboratorio de Producción animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Su localización geográfica es 25° 22' de latitud Norte, longitud 101° 00' oeste, a una altitud de 1742 msnm., (Guerrero, 2011).

3.2 Elaboración del las muestras experimentales

Las diferentes mezclas alimenticias evaluadas en la presente investigación provienen de tres productos peletizados. Los productos peletizados corresponden a un proyecto de investigación en el cual a partir de diferentes mezclas alimenticias a base de subproductos se seleccionaron las tres mejores formulas que mayor calidad del pelet presentaban. Dicha calidad estaba basada en la estabilidad del producto final. Para la elaboración de los productos peletizados se establecieron las mejores condiciones considerando principalmente tamaño de partícula (< 6mm) contenido de humedad (<22 %), nivel de aglutinante (<5%) y contenido de nutrientes empleando diversos subproductos agroindustriales. Los productos peletizados fueron elaborados por el Dr. Alberto Guerrero Rodríguez, en la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Las proporciones de los ingredientes de las mezclas a peletizar se muestran en el cuadro 3.1.

3.3 Análisis de las muestras

El análisis bromatológico de las muestras experimentales 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). Al igual que los carbohidratos se estimaran como el extracto libre de

nitrógeno (ELN) calculado como el porcentaje faltante para completar el 100 % de los componentes. La fibra detergente neutro (FDN) se determinó según procedimiento publicado por Goering y Van Soest, (1970).

Cuadro 3.1.- Formulas alimenticias utilizadas para la elaboración de los productos peletizados a base de subproductos agroindustriales.

| Ingrediente | Pelet 1 | Pelet 2 | Pelet 3 |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Masilla | 20 | 0 | 18 |
| Levadura | 0 | 15 | 5 |
| Bagazo de maíz | 15 | 15 | 13 |
| Bagazo de papa | 10 | 12 | 10 |
| Residuos de frituras | 10 | 10 | 5 |
| Salvadillo | 26 | 23 | 19 |
| Pollinaza | 6 | 6 | 6 |
| Melaza | 10 | 10 | 15 |
| Zeolita | 3 | 9 | 9 |

Proporciones expresadas en porcentajes %

3.4 Alimentación

En la prueba de alimentación se utilizaron 20 ovinos cruzados de la raza texel x charolais recién destetados nacidos en marzo de 2012 con un peso promedio de 15.3 kg., misma que tuvo una duración de 76 días, la cual fue dividida en dos fases: adaptación y periodo de prueba. El periodo de prueba a su vez estuvo dividido en dos etapas, las cuales tuvieron una duración de 37 y 25 días. En cada etapa se utilizó una dieta diferente en correspondencia al peso corporal alcanzado por los animales; sin embargo, los niveles de producto peletizado de cada tratamiento se mantuvieron constantes en cada una de las etapas (20%).

3.4.1 Adaptación de los animales

La duración del periodo de adaptación fue de 14 días. Los primeros cuatro días los animales recibieron solamente forraje (heno de avena molido) y en los días

restantes se realizó un cambio gradual de la dieta sustituyendo el forraje (20% cada dos días) por una dieta formulada correspondiente a la primera etapa de la prueba de alimentación.

3.4.2 Primera etapa

Esta etapa tuvo una duración de 37 días, desde el 25 de mayo al 30 de junio de 2012.

La relación forraje:concentrado para esta etapa fue de 30:70 (cuadro 3.2)

Cuadro 3.2.- Fórmulas alimenticias utilizadas durante la primera etapa de la prueba de comportamiento en ovinos.

| Ingrediente | Contenido (%) | | | |
|--|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| SP | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PM | 0 | 20 | 0 | 0 |
| PL | 0 | 0 | 20 | 0 |
| PML | 0 | 0 | 0 | 20 |
| Avena forraje | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Maíz molido (bagazo) | 24 | 16 | 16 | 16 |
| Harinolina | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Melaza | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Sorgo | 17 | 5 | 5 | 5 |
| Soya | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Semilla de algodón | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| Carbonato de Ca | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Fosfato Monodiválcico | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Análisis de las formulas alimenticias | | | | |
| Materia seca (%) | 88.89 | 89.02 | 88.71 | 88.63 |
| NDT (%) | 67.50 | 68.50 | 67.40 | 68.00 |
| PC | 14.64 | 14.23 | 14.30 | 14.10 |
| Ca | 0.90 | 0.91 | 0.91 | 0.90 |
| P | 0.70 | 0.65 | 0.67 | 0.64 |

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

3.4.3 Segunda etapa

Esta etapa tuvo una duración de 25 días, desde el 1 al 25 de julio de 2012. La relación forraje:concentrado para esta etapa fue de 18:82 (cuadro 3.3).

Cuadro 2.3.- Formulas alimenticias utilizadas durante la segunda etapa de la prueba de comportamiento en ovinos.

| Ingrediente | Contenido (%) | | | |
|--|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| SP | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PM | 0 | 20 | 0 | 0 |
| PL | 0 | 0 | 20 | 0 |
| PML | 0 | 0 | 0 | 20 |
| Avena forraje | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Salvado | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Maíz molido (bagazo) | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 |
| Harinolina | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Melaza | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Sorgo | 35 | 15 | 15 | 15 |
| Soya | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Grasa Animal | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Carbonato de Ca | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Fosfato Monodiválcico | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Sal | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Análisis de las formulas alimenticias | | | | |
| Materia seca (%) | 88.89 | 89.02 | 88.71 | 88.63 |
| NDT (%) | 67.50 | 68.50 | 67.40 | 68.00 |
| PC | 14.64 | 14.23 | 14.30 | 14.10 |
| Ca | 0.90 | 0.91 | 0.91 | 0.90 |
| P | 0.70 | 0.65 | 0.67 | 0.64 |

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

Así la alimentación tuvo una duración total de 62 días, la cual estuvo dividida en 2 etapas que corresponden a evaluación de cada tratamiento. La primera etapa tuvo una duración de 37 días, y la segunda etapa 25 días.

3.5 Tratamientos

Se evaluaron 4 tratamientos con 5 repeticiones. En los tratamientos se utilizó 20 % de pelet heno de sorgo molturado como forraje. Los tratamientos fueron se presentan en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4.- Tratamientos en porcentaje (%)

| INGREDIENTE | TRATAMIENTOS (Contenido en %) | | | |
|-------------|----------------------------------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| TESTIGO SP | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PELET M | 0 | 20 | 0 | 0 |
| PELET L | 0 | 0 | 20 | 0 |
| PELET ML | 0 | 0 | 0 | 20 |

3.6 Instalaciones y equipo

El presente trabajo se realizó en 20 corrales individuales de malla, piso de cemento, con comederos y bebederos desmontables. Los corrales se encuentran ubicados en la Unidad Metabólica e Investigación del departamento de Nutrición animal.

3.7 Servicio de alimento

El alimento se sirvió a las 8:00 a.m. y a las 4:00 pm. Durante el periodo de prueba se registró semanalmente la cantidad de alimento ofrecido y rechazado para obtener por diferencia el consumo de alimento promedio diario.

3.8 Variables a evaluar en el experimento

Las variables que se evaluaron son las siguientes:

- Concentración de ácido acético.
- Concentración de ácido propiónico.
- Concentración de ácido butírico.
- Relación de la concentración Ácido acético: Ácido propiónico.

3.9 Determinación de AGV's

La técnica utilizada correspondió a las técnicas según Tejada (1992) y Castellanos *et al.* (1990). La determinación de los AGV (Ácido acético, propiónico y butírico) se utilizó el cromatógrafo de gases marca Perkin-Elmer, con columna específica para estos AGV, ubicado en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

3.10 Extracción de líquido ruminal

Para determinar la concentración de ácidos grasos volátiles se extrajo líquido ruminal vía esofágica con una sonda conectada a una bomba de vacío, esto para cada uno de los animales, dicha extracción fue llevada a cabo al finalizar la prueba, estando los animales dietados un día antes de la extracción.

3.11 Metodología

La técnica utilizada para el análisis de los AGV correspondió a las técnicas según Tejada (1992) y Castellanos *et al.* (1990).

3.12 Diseño estadístico

Las variables de perfil ruminal (pH, ácido acético, propiónico y butírico) fueron analizadas mediante un diseño de bloques al azar (bloqueo por peso) utilizando un total de 5 bloques por tratamiento mediante el procedimiento GLM utilizando el paquete MINITAB (versión MES3.3.0).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La inclusión de productos peletizados a base de diferentes combinaciones de subproductos para ovinos produjo efectos significativos ($P<0.05$) sobre los niveles de ácido acético, propiónico y butírico. Por su parte los niveles de pH fueron más altos ($P<0.05$) cuando se adicionó el pelet de masilla o el de levadura en relación al tratamiento testigo y al pelet que combinó masilla y levadura (cuadro 4.1).

Cuadro 4.1.- Concentraciones de los ácidos grasos volátiles y pH en líquido ruminal de ovinos alimentados con diferentes productos peletizados elaborados a base de subproductos de cervecería.

| Variable | SP | PM | PL | PML |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|
| Ac. acético mM/l | 20 b | 24.8 a | 24.3 a | 19.8 b |
| Ac. propiónico mM/l | 5.7 b | 7.0 a | 7.3 a | 5.4 b |
| Ac. butírico mM/l | 4.2 b | 6.2 a | 4.9 b | 4.0 b |
| ac:pr | 3.5 a | 3.6 a | 3.3 a | 3.8 a |
| pH | 6.5b | 6.9a | 6.6ab | 6.5b |

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

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

Se puede observar que los mejores resultados en las concentraciones de ácidos grasos, principalmente para ácido acético y propiónico, se obtienen cuando se utiliza PM (20% masilla) o PL (15 % de levadura). Guerrero *et al.* (2011) reportan que el adicionar masilla hasta el 20% en niveles de la dieta en bovinos de engorda aumentan las concentraciones de ácido acético, propiónico y butírico en líquido ruminal.

Aguilera *et al.* (2007) reportó que el adicionar hasta el 50% en la dieta, los subproductos de cervecería especialmente masilla no modifica las concentraciones de ácidos grasos ni tampoco los valores de pH en líquido ruminal en ovinos.

Es evidente que al combinar masilla con levadura el impacto en las concentraciones de ácidos grasos es mucho menor comparado con PM y PL, esto posiblemente se deba a que los efectos provocados sobre la fermentación ruminal con el uso de levadura, dependerán del contenido activo de *S. Cerevisiae* (Williams, 1989 y Dawson, 1993). Guerrero *et al.* (2009) menciona que dichos aumentos en las concentraciones molares de ácidos grasos puede no presentarse si las dietas que contienen masilla se les adiciona levadura en forma húmeda debido posiblemente a un efecto de dilución a nivel ruminal, es decir, que el desarrollo bacteriano provocado por la adición de la masilla se vea afectado por un factor relacionado con la tasa de dilución de las bacterias y/o contenido ruminal al agregar un ingrediente con alto contenido de agua como lo es la levadura.

Comparando los resultados de la relación ácido acético:propiónico con Church (1993), quien menciona que al disminuir la formación de metano normalmente se produce un aumento paralelo en la producción de propionato, disminuyendo la relación acetato:propionato en la fermentación ruminal. Clanton (1966) y Judson (1968) mencionan que el aumento en la proporción molar de ácido propiónico generalmente se traduce en ganancia de peso y aumento de la producción láctea, siendo evidente que para esta investigación que los mejores resultados se dan cuando se utiliza PM o PL.

Por otro lado el utilizar PM o PL parece regular el pH ruminal, Bloomfield *et al.* (1963) mencionan que la absorción de los ácidos grasos es afectada por el pH en el medio, si se alcaliniza el contenido ruminal, la absorción se reduce. La modificación del tamaño y densidad de la partícula durante el peletizado mejoran el ambiente ruminal debido a una mayor retención de partículas en el rumen (Moritz, 2007) y probablemente también a una mayor producción de saliva que actúa como reguladora del pH tal como ocurre en el caso de los forrajes al aumentar el tamaño de partícula (Guerrero, 2013).

Conjugando lo anterior con la adición de subproductos de cervecería, se puede deducir que estos subproductos mejoran los parámetros a nivel ruminal en ovinos comparándolo con su uso directo o sin procesar, cuidando que el uso no exceda el 20%.

V.- CONCLUSIONES

Se obtuvieron tres nuevos productos alimenticios elaborados a base de subproductos agroindustriales con ingredientes no convencionales con alto potencial para la alimentación de ovinos. Los mejores resultados en las concentraciones de ácidos grasos, principalmente para ácido acético y propiónico, se obtienen cuando se utiliza PM (20% masilla) o PL (15 % de levadura) y el utilizar PM o PL parece regular el pH ruminal. El utilizar PML (18% masilla y 5 % de levadura) pueden afectar la estabilidad del pelet por su alto contenido de humedad.

El peletizado de los subproductos agroindustriales es una opción para la alimentación animal ya que mediante este proceso se puede mejorar la respuesta del rumiante, obteniéndose beneficios sobre el manejo de los ingredientes, ya que al no ser procesados dificultan su incorporación en la dieta de los rumiantes.

VI.- LITERATURA CITADA

- Alvarado, U.E. 2011. Beneficios del uso de levaduras en rumiantes ¿Mito o realidad? Lesaffre Feed Additives. Costa Rica. 1 pp.
- Annison, E. F. 1965 Physiology of the digestion in the ruminant. Buterworth, London, 1a Ed.
- Barcroft, J., R.A. McAnally and A.T. Phillipson. Absorption of volatile acids from the alimentary tract of the sheep and other animals *J.Exptl. Biol.* 20:120-126, 1994.
- Baldwin, R.L. 1965. Physiology of digestion in the ruminant. 1a Ed. Butterworth, Inc. London.
- Bloomfield, R.A., E. O. Kearley, D. O. Creack and M. E. Muhrer Ruminal pH and absorption of ammonia and V. F.A. *J. Anim. Sci.* 22: 833 (Resumen), 1963.
- Clanton, D.C. and W. Woods. Performance of steers and rumen fermentation as influenced by physical form of ingredients and alfalfa: corn ratio. *J.Anim.Sci.* 25:102-106, 1996.
- Camps, D. N. y G.O. González. 2003, Grano de maíz en la alimentación del ganado: ¿Entero o partido? Nutrición y Alimentación Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA.
- Calsamiglia, S. 2004. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España.
- Castellanos, A. Llamas, G. Shimada A. 1990. Manual de Técnicas de investigación en Ruminología. Primera Edición. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México A.C. México, D.F. pp. 144.
- Corbett, J.L. 1969. Nutrition of animals of agricultural importance. 1a. Ed. Pergamon Press.

- Church D.C.1993. El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed. Acribia S.A., Zaragoza, España.
- Church, D.C., Pond, W.G. y Pond, K.R. 2007. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de los Animales. 2da. Edición Limusa Wiley. México, D.F. 48-50 pp.
- Church, Pond y Pond. 2010. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da. Edición. Editorial Limusa Wiley. Pg.317.
- De Blas, C. *et al.*, 2010. Concentrados de proteína vegetal de alta calidad. Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal. Madrid. 258 pp.
- Dawson, K. A. 1993 Current and future role of yeast cultura in animal production: A Review of Research over the last Seven Years. In: E.Lyons Ed.Biotechnology in the Feed Industry, Proceedings of Alltech´s Ninth Annual Symposium.
- Falk 1985 y Pané 1993 citados por Caballero, G, D. 2010. Efecto del uso de alimento balanceado peletizado desde el inicio hasta el engorde de la granja porcina en Hobo, Santa Cruz de Yojoa, Honduras. Proyecto para titulación licenciatura. 1-2 pp.
- Fonty, G and K. N. Joblin. 1991. Rumen anaerobic fungi: Their role and interactions with other rumen microorganisms in relation to fiber digestion. pp. 655-679. In: Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants. T. Tsuda, Y. Sasaki, R. Kawashima (eds.). Academic Press, San Diego.
- Goetsch, A. L. and F.N. Owens. 1986. Effects of dietary nitrogen level and ilial antibiotic administration on digestion and passage rates in beef heifers. I. High-concentrate diets. J. Anim. Sci. 62:830.
- Guerrero, R.P. 2010. Efecto de la adición de un producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales sobre los coeficientes de digestibilidad, parámetros energéticos y balance de nitrógeno en ovinos. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila. México.

- Guerrero, R.A. 2009. Utilización de masilla y/o levadura de cervecería en la alimentación de toretes Charolais. Tesis Maestría. UAAAN. Saltillo. Coahuila. México.
- Grenet, E.; A. Breton; P. Barry and P. Fonty. 1989. Rumen anaerobic fungi and plant substrates colonization as affected by diet composition. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 26: 55-70.
- Harrison, J.J. Raymond J. Turner, Lyriam L. R. Marques y Howard Ceri. 2006. Biopelículas. *Investigacion y Ciencia*.
- Hébraud, M. and M. Fèvre. 1988. Characterization of glycosides and polysaccharide hydrolases secreted by the rumen anaerobic fungi *Neocallimastix frontalis*, *Sphaeromonas communis* and *Piromyces communis*. *J. Gen. Microbiol.* , 134: 1123-1129.
- Hungate, R.E. 1996. The rumen and its microbes. 1a. Ed. Academic Press, New York.
- Judson, G. J., E. Anderson, J. R. Luick and R. A. Leng. The contribution of propionate to glucose synthesis in sheep given diets of different grain content. *Brit. J. Nutr.* 22: 69-75, 1968.
- Kayouli, C., & Lee, S. 1998. Supplementary feeding for dairy smallholders in Pacific Island Countries: Fiji, Samoa, Vanuatu, Cook Islands, Solomon Islands and Tonga. P. 67-101, *in*: S. Lee, R. Kennard & C. Kayouli (eds) *Manual of Smallholder Milk Production in the South Pacific*. FAO Sub-Regional Office for the Pacific, Apia, Samoa.
- Krause, V. E. 1973. Dehydrated alfalfa as a protein source in ruminant rations. Ph.D. Dissertation. University of Nebraska, Lincoln.
- Meyer, J.H., R. Kroman y W.N. Garrett. 1965. *Physiology of digestion in the ruminant*. Butterworth, London 1a.Ed.

- McDonald P, E, Edward R.A, J.F.D, Greenhalgh. C.A, Morgan. 1995 Animal Nutrition 5^a Edition, editorial Addison Wesley
- Nava, C.C. y Díaz, C. A. 2001. Introducción a la digestión ruminal. Departamento de nutrición animal. Facultad de Medicina y Veterinaria y Zootecnia. UNAM. 2-3 pp.
- Reinold, M.R. 1997. Manual practico de cervecería. Adem Ed. Sao Pablo, Brazil.
- Rook, J.A.F and C.C. Balch 1964. The effects of intra ruminal infusions of acetic, propionic and butyric acids on the acids compositions of the milk of the cow. Brit. J. Nutr. 15: 361-369.
- Satter, L.D. and L. W. Whitlow.1977. Resistance of protein in brewers dried grains to microbial degradation in the rumen. U.S. Brewers Assoc. Feed Conf. Proc. Distillers Feed Res. Conf. 32, 63-72.
- Steel, J.W. 1973. Effects of plane of nutrition and pregnancy on gluconeogenesis in sheep. The kinetics of glucose metabolism. Brit. J. Nutr. 30:451.
- Sutton, J.D., A.D.McGilliard and N.L. Jacobson. Functional development of rumen mucosa. I. Absorptive ability. *J. Dairy Sci.* 46: 426-435, 1963.
- Tagan A., *et al.*, 2010.Volatile fatty acids production in ruminants and the role of monocarboxylate transporters: A review. Department of Veterinary Physiology and Pharmacology, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
- Tejada, I. 1992. Control de calidad y Análisis de Alimentos para Animales. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Pp. 86.
- Tweedie, J.W., M.G. Rurnsby y J.C. Hawke. 1966. Studies in rumen metabolism V. Formation of branched long-chain fatty acids in cultures of rumen Bacteria. *J. Sci. Food Agric.* 17:241-243.

- Van, L.E. y Regueiro M. 2008. Digestión en el Retículo-Rumen. Curso de Anatomía y fisiología Animal. Departamento de Producción Animal y Pasturas. Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay.
- Williams, V.J., T.R.Huthchings and K.A. Archer. Absorption of volatile fatty acids from the reticulo-rumen and abomasums of sheep. *Austral. J. Biol. Sci.* 21: 89-96, 1968.
- Yokohama, M.T. y K.A. Johnson. 1988 En: D.C. Church (Ed.). Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. Pp: 125-144.
- Zavaleta, De L.E., 2007. Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. Departamento de Nutrición y Bioquímica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México.

VII.- APÉNDICE

Concentraciones de ácidos grasos

Modelo lineal general: Acetico mM/l vs. T

| Factor | Tipo | Niveles | Valores |
|--------|------|---------|------------|
| T | fijo | 4 | 1, 2, 3, 4 |

Análisis de varianza para Acetico mM/l, utilizando SC ajustada para pruebas

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

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

Observaciones inusuales de Acetico mM/l

| Obs | Acetico mM/l | Ajuste | EE de ajuste | Residuo Residuo | Residuo estándar |
|-----|--------------|---------|--------------|-----------------|------------------|
| 15 | 19.1100 | 24.2960 | 1.0391 | -5.1860 | -2.50 R |

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

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

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

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: Propiónico mM/l vs. T

| | | | |
|--------|------|---------|------------|
| Factor | Tipo | Niveles | Valores |
| T | fijo | 4 | 1, 2, 3, 4 |

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

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F | P |
|--------|----|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| T | 3 | 12.6110 | 12.6110 | 4.2037 | 11.74 | 0.000 |
| Error | 16 | 5.7311 | 5.7311 | 0.3582 | | |
| Total | 19 | 18.3421 | | | | |

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

Observaciones inusuales de Propiónico mM/l

| Obs | Propiónico mM/l | Ajuste | EE de ajuste | Residuo | Residuo estándar |
|-----|--------------------|---------|-----------------|---------|---------------------|
| 18 | 6.80000 | 5.37800 | 0.26765 | 1.42200 | 2.66 R |

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

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

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

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: Butirico mM/l vs. T

Factor Tipo Niveles Valores
T fijo 4 1, 2, 3, 4

Análisis de varianza para Butirico mM/l, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F | P |
|--------|----|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| T | 3 | 14.4802 | 14.4802 | 4.8267 | 12.43 | 0.000 |
| Error | 16 | 6.2113 | 6.2113 | 0.3882 | | |
| Total | 19 | 20.6915 | | | | |

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

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

| T | N | Media | Agrupación |
|---|---|-------|------------|
| 2 | 5 | 6.2 | A |
| 3 | 5 | 4.9 | B |
| 1 | 5 | 4.2 | B |
| 4 | 5 | 4.0 | B |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo lineal general: A:P vs. T

| | | | |
|--------|------|---------|------------|
| Factor | Tipo | Niveles | Valores |
| T | fijo | 4 | 1, 2, 3, 4 |

Análisis de varianza para A:P, utilizando SC ajustada para pruebas

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

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

Observaciones inusuales de A:P

| Obs | A:P | Ajuste | EE de ajuste | Residuo | Residuo estándar |
|-----|---------|---------|--------------|----------|------------------|
| 18 | 2.48529 | 3.79931 | 0.22178 | -1.31401 | -2.96 R |

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

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

| T | N | Media | Agrupación |
|---|---|-------|------------|
| 4 | 5 | 3.8 | A |
| 2 | 5 | 3.6 | A |
| 1 | 5 | 3.5 | A |
| 3 | 5 | 3.3 | A |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.