



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN EFECTIVA Y EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS DE PELO
ALIMENTADOS CON SACCHAMAIZ.**

BEATRIZ GODÍNEZ JUÁREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2014

La presente tesis, titulada: **Evaluacion de la degradacion efectiva y el comportamiento productivo de ovinos de pelo alimentados con Sacchamaiz**, realizada por la alumna: **Beatriz Godínez Juárez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____
Dr. Luis Manuel Vargas Villamil

ASESOR: _____
Dr. Roberto González Garduño

ASESOR: _____
Dr. Omar Hernández Mendo

ASESOR: _____
Dr. Juan Manuel Zaldívar Cruz

ASESOR: _____
Dr. Jesús Alberto Ramos Juárez

Cárdenas, Tabasco, México, 21 de Febrero del 2014.

RESUMEN

EVALUACION DE LA DEGRADACION EFECTIVA Y EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS DE PELO ALIMENTADOS CON SACCHAMAIZ

Beatriz Godínez Juárez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014

El objetivo de este trabajo fue el evaluar el efecto de inclusión de maíz (0, 10, 20, 30 y 40%) en alimentos a base de caña de azúcar fermentada en la degradación efectiva (DE) y el peso de ovinos de pelo corto. Las dietas, Saccharina, Saccharina +10, 20, 30, y 40% de maíz, fueron evaluadas. La DE e *in situ* de la material seca (MS) y la fibra detergente neutra (FDN) fueron evaluadas de acuerdo a un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Se evaluó el consumo voluntario y la ganancia de peso en 24 ovinos (Kathadin x Pelibuey), de un peso promedio de 17 ± 3 kg, con un arreglo completamente al azar. Con excepción de DE de MS y la tasa de degradación, el tratamiento al 10% presentó los niveles más altos de degradación *in situ* (MS=75.90%, FDN=53.70%), DE (FDN=60.81%), FS (MS=73.14%, FDN=51.31%), presentando valores más bajos al 0%. Los ovinos alimentados con 40% tuvieron el mayor consumo, con diferencias significativas. Los animales con mayor peso fueron los que recibieron la dieta con el 30% de maíz, sin embargo, no existieron diferencias significativas en el cambio de peso y en el promedio de la ganancia diaria de peso. La aportación de maíz en las dietas a base de Saccharina mejoró la degradación y el consumo del mismo, sin

embargo, no se encontraron diferencias significativas en las ganancias de peso que pudieran estar relacionadas a bajos niveles de consumo y proteína cruda en las dietas.

Palabras claves: Alimentación de ovinos, Degradación, Crecimiento animal, Ingestión voluntaria

ABSTRACT

DEGRADATION ASSESSMENT OF EFFECTIVE AND PRODUCTIVE PERFORMANCE HAIR SHEEP FED SACCHAMAIZ

Beatriz Godínez Juárez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014

The objective of this work was to assess the effect of including corn (0, 10, 20, 30 and 40%) on effective degradation and weight gain in short-haired sheep fed a fermented sugarcane-base diet. The diets, Saccharin, Sacchamaiz +10, 20, 30 and 40% of corn, were evaluated. The effective and *in situ* degradation of dry matter (DM) and neutral detergent fiber (NDF) were evaluated, according to a completely randomized design with factorial arrangement. On fieldwork, voluntary intake and weight gain were evaluated in 24 sheep (Kathadin x Pelibuey) with an average weight of 17 ± 3 kg. The behavior evaluation had a completely randomized arrangement. The treatments were randomly assigned among the four diets. Except of MS and the degradation rate, the treatment at 10% had the highest levels of degradation *in situ* (MS=75.90% NDF=53.70%), DE (NDF=60.81%), FS (MS=73.14%, NDF=51.31%), with lower values at 0%. The sheep were fed 40% increased consumption, with significant differences. Animals with greater weight were fed the diet with 30% corn, however, no significant differences in weight change and average daily weight gain. The contribution of maize-based diets improved Saccharina degradation and consumption of it, however, no

significant differences in weight gains that could be related to low levels of consumption and crude protein in diets.

Keywords: Sheep feeding, Degradation, Animal growth, Voluntary intake

DEDICATORIA

A mi hija **Paola**, porque para lograr esto robe mucho del tiempo que te correspondía, y aun siendo una niña supiste comprender, muchas gracias mi niña, Te Amo.

A mis padres **Pablo Godínez y Esperanza Juárez**

Padre, por tu eterno apoyo en cada una de mis decisiones a pesar de mis caídas.

Madre, por darme la oportunidad de vivir y haberme apoyado en todo momento.

A mis Hermanas **Eloísa y Alicia**, porque más que mis hermanas las considero amigas de vida.

A ti que durante mi estancia en la maestría te mostraste como un amigo que siempre estaba dispuesto a escucharme a cualquier hora, y ahora has decidido ser mi compañero de vida, gracias por tu comprensión y tu apoyo en este paso, toda mi gratitud a ti **Luis**, Te Amo.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo económico brindado en estos dos años que me permitieron dar un paso más en mi educación profesional.

Al **Colegio de Postgraduados (COLPOS), Campus Tabasco**, por permitirme acceder a sus instalaciones y al conocimiento de sus docentes para poder concluir una etapa más en mi vida profesional.

Al **Dr. Luis M. Vargas Villamil**, porque más que ser un consejero y director en mi tesis, para mí es como un amigo, gracias por sus consejos y sobre todo por su paciencia.

Al **Dr. Roberto González Garduño**, por su amistad, tiempo y apoyo incondicional que me brindó para que esto fuera posible, además por aceptar ser parte de mi consejo asesor.

A los demás integrantes de mi consejo los Doctores, **Juan Manuel Zaldívar Cruz, Omar Hernández Mendo y Jesús Alberto Ramos Juárez**, por su tiempo dedicado a la elaboración y revisión de la presente tesis.

Al **M.C. Francisco Izquierdo Reyes**, por su apoyo en el análisis estadístico y en la elaboración del documento.

A mis compañeros y amigos que estuvieron presentes durante mi estancia, lograron que me sintiera como en casa, gracias por su compañía y sus consejos, **Roberto Loyo, Ernesto Martínez, Alex R. Olivera, Eduardo Capetillo, José Luis Jerónimo y Yelli Lozada**.

A esas personas que a pesar de la distancia siempre han estado presentes, **Mary, Tania, Ana y Norma**, las quiero mucho.

MUCHAS GRACIAS A TODOS

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS	3
2.1.	General.....	3
2.2.	Específicos.....	3
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1.	Saccharina y fermentación sólida.....	4
3.2.	Fermentación ruminal.....	6
3.3.	Importancia de la flora intestinal.....	8
3.4.	Consumo voluntario.....	10
3.4.1.	Consumo de materia seca (MS).....	14
3.4.2.	Requerimiento de energía metabolizable (EM).....	15
3.4.3.	Requerimiento de PC.....	15
3.5.	Digestibilidad.....	15
3.5.1.	Métodos <i>in vivo</i>	16
3.5.2.	Métodos <i>in situ</i>	17
3.5.3.	Métodos <i>in vitro</i>	18
3.6.	Ganancia de peso en ovinos en el trópico.....	18
3.6.1.	Ganancia de peso y factores que influyen.....	22
3.6.2.	Factores que afectan el crecimiento y la ganancia de peso.....	23
3.7.	Probióticos.....	24
3.8.	Modelación matemática.....	25
3.8.1.	Características de los modelos.....	26
3.8.2.	Tipos de modelos.....	27

3.8.3. Validación.....	28
3.8.4. ¿Cómo ayuda un modelo matemático?.....	28
3.8.5. Modelos utilizados en la nutrición animal.....	29
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1. Degradación.....	32
4.1.1. Fase de campo.....	32
4.1.2. Fase de Laboratorio.....	34
4.1.2.1. Degradación <i>in situ</i> de la materia seca (MS).....	34
4.1.3. Fase de gabinete.....	35
4.1.3.1. Diseño experimental.....	35
4.1.3.2. Análisis estadístico.....	35
4.2. Ganancia de peso.....	36
4.2.1. Fase de campo.....	36
4.2.1.1. Ubicación.....	36
4.2.1.2. Manejo de los animales.....	36
4.2.1.3. Preparación de la Saccharina y el probiótico.....	38
4.2.2. Fase de gabinete.....	38
4.2.2.1. Diseño experimental.....	38
4.2.2.2. Análisis estadístico.....	39
V. RESULTADOS.....	40
5.1. Degradación.....	40
5.2. Ganancia de peso.....	45
5.2.1. Composición bromatológica de la Saccharina.....	45
5.2.2. Consumo de materia verde.....	46
5.2.3. Consumo de materia seca.....	47

5.2.4. Ganancia de peso y muestreos	48
5.2.5. Peso vivo y ganancia diaria de peso.....	49
VI. DISCUSIÓN.....	51
6.1. Composición de la dieta.....	51
6.2. Degradación <i>in situ</i> de la dieta.....	52
6.3. Degradación efectiva de la dieta.....	54
6.4. Consumo	55
6.5. Ganancia de peso.....	56
VII. CONCLUSIÓN.....	58
VIII. RECOMENDACIONES.....	59
IX. LITERATURA CITADA.....	59
X. ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Productos para consumo animal elaborado a base de caña de azúcar.	5
Tabla 2. Distribución de tratamientos y sus repeticiones	32
Tabla 3. Efecto de la interacción dieta por tiempo de degradación en la materia seca (DIMS) y fibra detergente neutro (DIFDN).....	41
Tabla 4. Efecto de la dieta en la materia seca (MS) y fibra detergente neutro (FDN)..	42
Tabla 5. Efecto de la dieta en la degradación efectiva, fracción soluble y la tasa de degradación de la materia seca (MS) y fibra detergente neutro (FDN).	43
Tabla 6. Composición bromatológica de la Saccharina.....	45
Tabla 7. Peso vivo y ganancia de peso de ovinos Pelibuey estabulados, alimentados con diferentes porcentajes de maíz en una dieta integral a base de caña de azúcar fermentada	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución y ubicación de los alimentos en el rumen.....	6
Figura 2. Gráfica de la interacción Dieta x Tiempo de degradación de la materia seca.	44
Figura 3. Gráfica de la interacción Dieta x Tiempo de degradación en la fibra detergente neutro (FDN).	45
Figura 4. Comportamiento del consumo de materia verde (MV) por cada tratamiento .	47
Figura 5. Consumo de materia seca (MS) en base al peso metabólico, en ovinos Pelibuey estabulados, alimentados con cuatro dietas a base de caña de azúcar fermentada con distintos porcentajes de inclusión de maíz (10, 20, 30 y 40%) por día de muestreo.	48
Figura 6. Gráfica de la interacción tratamiento por muestreo para la variable ganancia de peso.	49
Figura 7. Cambio de peso vivo en base a las cuatro diferentes dietas ofrecida a los corderos en relación al tiempo	50

ANEXOS

Anexo A. Consumo de alimento en ovinos estabulados que recibieron caña de azúcar fermentada con diferentes niveles de maíz.....	72
Anexo B. Análisis proximales pre incubación.....	72
Anexo C. Análisis proximales pots incubación	73
Anexo D. Degradación de materia seca (DMS).....	74
Anexo E. Degradación de FDN	74
Anexo F. Degradación de materia orgánica (MO)	74

I. INTRODUCCIÓN

En la ganadería del trópico, uno de los principales problemas es la alimentación de los rumiantes, ya que su dieta está basada en pastos de los cuales existen problemas de disponibilidad, ya que esta depende de muchos factores como la temperatura, precipitación, radiación solar, tipo de suelos, entre otros, así pues podemos encontrar escases de pastos en épocas de nortes y secas (Aranda *et al.*, 2000).

La caña de azúcar es una gramínea adaptada a regiones tropicales y subtropicales, de la cual se pueden obtener rendimientos de 395 y 276 t/ha/año respectivamente (Alexander, 1988), por lo tanto se ha tomado como una alternativa viable en la alimentación de rumiantes como pasto de corte.

Sin embargo, esta gramínea presenta diversos problemas nutricionales como bajos contenidos de proteína cruda (PC) (2 a 3%), pocos minerales, lenta tasa de pasaje (Martín, 2004) y baja digestibilidad de la fibra (Aranda *et al.*, 2000), los cuales no llegan a cubrir los requerimientos de los animales.

Como solución a esta problemática se ha optado por aplicar el proceso de fermentación en estado sólido (FES) a la caña de azúcar, dicha gramínea tiene la ventaja de que el contenido de azúcares aumenta conforme a la edad de la planta (Elías, 1983), y en el proceso de FES es favorable, ya que son usados como fuente de energía por los microorganismos (Ramos *et al.*, 2006), al pasar por este proceso toma el nombre de Saccharina.

A la Saccharina como suplementos se le ha optado por incluir algunos otros alimentos para hacerla más completa nutricionalmente, por ejemplo yuca, desechos de cítricos, sorgo, pulido de arroz y maíz, esto además con la finalidad de disminuir el contenido de fibra para incrementar la eficiencia fermentativa y maximizando la síntesis de proteína microbiana.

II. OBJETIVOS

2.1. General.

Evaluar la degradación, consumo y comportamiento productivo de ovinos de pelo alimentados con *Sacchamaíz*.

2.2. Específicos.

- Evaluar en laboratorio la degradación *in situ* de las dietas propuestas.
- Obtener parámetros de digestión de las dietas propuestas.
- Conocer la degradación efectiva ruminal de los alimentos a base de caña con inclusión de maíz en diferentes porcentajes (10, 20, 30 y 40%).
- Evaluar el efecto de inclusión de maíz (10, 20, 30 y 40%) en alimentos a base de caña de azúcar en el consumo voluntario de ovinos de pelo.
- Evaluar el efecto de inclusión de maíz (10, 20, 30 y 40%) en alimentos a base de caña de azúcar en el cambio de peso de ovinos de pelo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Saccharina y fermentación sólida.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea perenne adaptada al ambiente tropical y subtropical que tradicionalmente se ha usado para la producción de azúcar. Sin embargo, en los últimos años se ha considerado como un recurso forrajero con potencial para la alimentación animal debido a su gran producción de biomasa por unidad de superficie. En regiones tropicales y subtropicales se pueden obtener rendimientos de 395 y 276 t/ha/año respectivamente (Alexander, 1988).

Al usarla en la alimentación animal existen problemas por los bajos contenidos de proteína cruda (PC) (2 a 3%), pocos minerales, lenta tasa de pasaje (Martín, 2004) y baja digestibilidad de la fibra (Aranda *et al.*, 2000). Además, el contenido de azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa) se incrementan conforme aumenta la edad de la planta, lo cual puede llegar a influir negativamente en la digestibilidad de la fibra y el consumo voluntario cuando se usa como una fuente energética por los rumiantes sin algún procesamiento (Elías, 1983). Sin embargo, este aumento de azúcares es favorable para los procesos de fermentación en estado sólido (FES) de la caña, ya que son usados como fuente de energía por los microorganismos (Ramos *et al.*, 2006).

La FES es un proceso en el cual se desarrollan microorganismos en materiales sólidos y húmedos, el contenido de sólidos varía entre 20 y 70% del peso total, y el agua que requieren los microorganismos para crecer la toman de la humedad del sustrato. Los sustratos que se usan en los procesos de FES son productos o subproductos agrícolas o agroindustriales y algunos requieren pre-tratamientos para mejorar la calidad nutritiva (Mitchell *et al.*, 2002).

Uno de los criterios de mayor importancia para el éxito en los procesos de FES es la selección de la cepa de microorganismos y el sustrato. Otros factores importantes para el crecimiento microbiano en un sustrato en particular son: la fuente de carbohidratos y la relación carbohidratos/nitrógeno, temperatura, humedad y actividad del agua (a_w), pH, aireación, agitación y el tamaño de partículas (Pandey *et al.*, 2001). En Cuba, se han obtenido alimentos como la Saccharina y el bagarip, entre los más destacados, por sus aplicaciones como substitutos parciales de alimentos tradicionales y como suplementos dietéticos en algunos animales (Julián y Ramos, 2007).

La FES en la actualidad es aplicada a la caña de azúcar, obteniendo así la Saccharina, la cual es obtenida por fermentación de los tallos desprovistos de las hojas, suplementado con urea y sales minerales, según la tecnología desarrollada por Elías *et al.* (1990). Recientemente, se han elaborado diferentes alimentos basados en los principios del proceso de FES de la Saccharina, utilizando la caña de azúcar como principal sustrato añadiendo diferentes productos y/o subproductos agroindustriales con la finalidad de disminuir el contenido de fibra para incrementar la eficiencia fermentativa y maximizando la síntesis de proteína microbiana. En el cuadro 1, se presentan algunos de los subproductos obtenidos de la caña de azúcar como principal sustrato (Martínez, 2010), seguido de algunas de las características bromatológicas de los alimentos obtenidos por la FES.

Cuadro 1. Productos para consumo animal elaborado a base de caña de azúcar.

Producto	Sustrato	Referencia
Saccharina	caña de azúcar, urea y minerales	Elías <i>et al.</i> , 1990.
Sacchamaíz	caña + Maíz molido, urea, minerales y sulfato de amonio	Elías <i>et al.</i> , 1990.

Bagarip	bagazo de caña, urea y minerales	Pedraza <i>et al</i> , 200
Caña fermentada + excreta vacuna	Caña + vacaza	Boucourt <i>et al</i> , 2005
Miel proteica	caña de azúcar	Savón <i>et al.</i> , 1990
Levadura forrajera	miel final, Guarapo	Otero, <i>et al.</i> , 2008
Bagazo biofermentado	mostos alcohólicos, Bagazo predigerido	Valiño, 2001.
Sacchayuca	Caña + Tubérculo de yuca, urea y minerales	Rodríguez, 2005.
Sacchacítrico	caña + pulpa de cítricos, pasta de soya, urea y minerales	Ramos, 2006.
Sacchasorgo	caña + Sorgo, pasta de soya, urea minerales y sulfato de amonio	Bladony-Ricardez <i>et al.</i> , 2013.
Sacchapulido	caña + culidura de arroz, pasta de soya, urea, minerales y sulfato de amonio	Ramos, 2006.

3.2. Fermentación ruminal.

El rumen es una cámara de fermentación anaeróbica, el espacio de dicha cámara contiene tres capas: la capa líquida, que comprende el líquido ruminal; la capa sólida, la cual contiene el alimento fino consumido un día antes y el alimento grueso consumido durante el día; y la capa gaseosa, que contiene los gases que se van desprendiendo del proceso de fermentación (Figura 1).



Figura 1. Distribución y ubicación de los alimentos en el rumen.

En el rumen se encuentran microorganismos que viven en una interacción de mutualismo, por lo que dependen del rumiante para disponer de las condiciones óptimas para su crecimiento, y al mismo tiempo depende de los productos de la fermentación anaerobia del alimento fibrosos que se ingiere, así como, de la actividad biocinética microbiana, para cubrir sus propias necesidades nutritivas (Orskov, 1979). El metabolismo del rumiante está enfocado a aprovechar los productos de la fermentación microbiana, como los ácidos grasos volátiles (AGV's), sin embargo, no todos los productos de la fermentación microbianas son útiles para el rumiante, como el metano, e incluso nocivos como el amoniaco y los nitratos (Owens y Goetsch, 1986). La población ruminal está compuesta por bacterias, protozoos y hongos. La población dependerá de las composición y estructura de la dieta y de las múltiples interacciones entre ellos (Orskov, 1979). Estas se encuentran en las siguientes proporciones aproximadas:

- Bacterias: 10^{10} y 10^{11} bacterias/g, las cuales son agrupadas en 32 géneros y 63 especies.
- Protozoos: 10^5 y 10^6 células/ml. En su mayoría son especies de ciliados (Entodiniomorfa y Holótrica).
- Hongos: Por lo general se encuentran adheridas a las partículas de fibra, en dietas forrajeras los podemos encontrar en 8% de la masa microbiana (Orpin, 1981).

Los antes mencionados interaccionan en el ecosistema ruminal para maximizar la eficiencia de fermentación del alimento (Van Soest, 1982) estableciendo dos grupos de

microorganismos: los que fermentan los alimentos y los que fermentan los productos de fermentación producidos por los primeros, eliminando los productos finales de la fermentación y proporcionándoles los factores esenciales para su crecimiento.

El crecimiento de dichos microorganismos está determinado por varios factores, entre ellos, el tipo de dieta, el cual determina el perfil de fermentación ruminal, existiendo una diferencia máxima entre dietas forrajeras y dietas ricas en concentrados, por lo que ante un cambio de dieta la población tiene que establecer mecanismos de adaptación hacia un nuevo equilibrio (Salcedo,2004).

Las dietas con un alto contenido de concentrado pueden afectar el ambiente ruminal, modificando el pH, lo cual origina la muerte de las bacterias que utilizan lactatos y las amilolíticas, y son sustituidas por bacterias productoras de lactato, llevando a un mayor descenso del pH y con ello una acidosis láctica (Salcedo, 2004).

En los rumiantes, para que el rumen desarrolle la capacidad fermentativa, tiene que pasar por tres fases (Wardrop, 1961).

- Fase de lactante o no rumiante (0-3 semanas): La dieta es solo leche.
- Fase de transición (3-8 semanas): El rumiante incluye en su dieta los alimentos vegetales.
- Fase de rumiante (a partir de las 8 semanas): Se sustenta solamente de alimentos vegetales.

3.3. Importancia de la flora intestinal.

Se le denomina flora intestinal al conjunto de organismos que se encuentra viviendo en una relación de simbiosis en el intestino en interacciones de tipo comensal y mutualismo.

La flora intestinal influye directamente en el estado de salud de los animales, misma que debe de estar en estabilidad para que dichas funciones puedan desarrollarse adecuadamente, sin embargo, el tracto digestivo no es un sistema cerrado, ya que al momento de ingerir alimentos se introducen gérmenes y sustancias que normalmente resultan inofensivos debido a los mecanismos de defensa que dichos organismos poseen (Salcedo, 2004). Algunas de las funciones más importantes de la flora intestinal, son las siguientes.

- Degradación de sustancias alimenticias no digeridas
- Producción de vitaminas y ácidos grasos de cadena corta
- Integridad del epitelio intestinal
- Protección frente organismos enteropatógenos
- Estímulo en la respuesta inmunitaria

Como se mencionó anteriormente, la introducción de alimento lleva consigo factores externos que pueden ocasionar un desequilibrio intestinal, además de otros factores como, como, cambios en la alimentación, infecciones y parasitismos, tratamientos con antibióticos, entre otros. Este desequilibrio puede afectar en menor o mayor grado todo el sistema digestivo (Salcedo, 2004).

Unos de los síntomas más comunes, en la ruptura de este equilibrio, es la diarrea, ya que es la expresión de debilidad de las defensas intestinales que ayudan a que los gérmenes patógenos logren implantarse, adherirse y proliferar en las células epiteliales del intestino (Church, 1986), provocando un déficit de absorción de agua, así como de numerosas sustancias nutritivas. Junto a estas alteraciones en el "estado de

hidratación”, y una vez provocado el cambio cuanti-cualitativo bacteriano intestinal, nuevos agentes infecciosos se pueden asentar en otros tejidos del organismo.

La prevención del desequilibrio de la flora intestinal puede llegar a tener un gran significado económico, ya que los factores afectados en un desequilibrio son muy diversos (Metges, 2000).

3.4. Consumo voluntario.

En las explotaciones animales es indispensable conocer el consumo de materia seca (MS), ya que en base a esto se pueden elaborar los programas de suplementación y determinar otros factores como la carga animal en los potreros, así mismo, ayuda a precisar el estado nutricional del animal con base en el alimento que está consumiendo y determinar si la alimentación que está recibiendo es adecuada, siempre y cuando se tenga conocimiento de los requerimientos óptimos del animal (De Alba, 1983). El consumo voluntario de la MS tiene un efecto directo en la productividad del animal, porque determina cuanto come el animal. Aproximadamente un animal consume el 2.6% de su peso vivo (PV) (Mejia, 2002)

La calidad del forraje influye en el consumo de MS y el comportamiento de los animales, principalmente en el tiempo de pastoreo y descanso (Bavera-Ruiz, 2002). Existen mecanismos muy complejos que determinan el consumo de alimento en los rumiantes, mismos que no se han logrado comprender por su complejidad y variabilidad en cada animal; no existe un mecanismo simple que controle el consumo de alimento, más bien hay una serie de factores involucrados que interactúan para regular el consumo (Mendoza, 2006). A continuación se mencionan algunos autores y su perspectiva sobre él o los mecanismos que determinan el consumo.

Gómez (2003) señaló que la regulación del consumo alimentario en rumiantes es principalmente de tipo nerviosa con una subestructura de reflejos, facilitada o inhibida por centros en el encéfalo, especialmente en el hipotálamo. Esto implica un conjunto de receptores sensibles a varios estímulos y que originan señales transmitidas por el sistema nervioso central hasta los centros hipotalámicos; en ese lugar se iniciaría la respuesta de inicio o término del consumo.

Hodgson (1985) clasificó en tres los mecanismos de control del consumo voluntario: metabólicos, físicos y etológicos. Estos operan en forma simultánea en rumiantes en pastoreo y algunos son importantes, dependiendo de la calidad y características del forraje y de las condiciones ambientales.

Allison (1985) señala que el consumo voluntario de los animales en pastoreo está influenciado por la disponibilidad del forraje, factores fisiológicos y físicos de los animales y plantas, factores ambientales, así como de, estrategias de manejo en la interrelación planta-animal. En general existen, principalmente, cuatro factores determinantes del consumo voluntario en animales, a continuación se numeran.

- a) **Cantidad del forraje presente:** Minson (1990) señaló que cuando la cantidad de forraje presente es mayor a 2 ton/MS/ha, el animal no tiene problema para satisfacer su apetito y cuando esta cantidad disminuye el consumo voluntario se afecta negativamente porque disminuye el tamaño de bocado. Dentro del forraje disponible los animales en pastoreo seleccionan las partes de mayor valor

nutritivo (hojas); en general, a mayor cantidad de forraje disponible hay un mayor grado de selectividad (Maynard *et al.*, 1981), primero consumen las partes en crecimiento y después las hojas maduras, posteriormente la parte superior del tallo y las hojas viejas, esto último si la carga animal es suficientemente alta (Orskov y McDonald, 1979).

b) **Factores físicos de la planta:** El valor nutritivo de los pastos disminuye conforme aumenta la edad o madurez, al madurar el pasto aumenta su contenido de paredes celulares y el contenido celular se reduce, por lo cual éste se vuelve menos digestible (Maynard *et al.*, 1981). Las raciones de bajo valor nutritivo, debido a su poca digestibilidad o volumen excesivo, se consumen en menor cantidad porque el rumen se distiende y se inhibe el consumo de MS antes de que el animal haya satisfecho su demanda total de energía. Al incrementar el valor nutritivo de la ración, aumenta el consumo de alimento y de energía hasta que la ingestión de energía alcanza el punto establecido por el requerimiento del animal (Gómez, 2003). El estado de madurez de los forrajes tiene igual efecto en el consumo en animales en pastoreo que en animales estabulados; el mayor obstáculo en el consumo voluntario es el espacio ocupado por los residuos indigestibles en el tracto gastrointestinal, especialmente en el rumen. El efecto del estado de madurez y la tasa de pasaje se puede modificar por la selectividad de los animales en pastoreo (Maynard *et al.*, 1981).

c) **Factores ambientales:** Factores climáticos como la velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar y temperatura tienen efectos directos o indirectos en el consumo. El estrés calórico de las zonas tropicales tiene un efecto negativo en la productividad de los rumiantes, ya que disminuye el consumo y la tasa de pasaje para reducir el calor que se genera por la fermentación ruminal y por el metabolismo corporal, ayudando de esta manera a mantener el balance calórico. Otro factor importante puede ser el consumo de agua, debido al llenado del rumen que posiblemente disminuye el apetito (Allison, 1985).

El estrés térmico incrementa los requerimientos de energía de mantenimiento y reduce la tasa de crecimiento, rendimiento de leche y la productividad (Mendoza y Ricalde, 1994). Aunque no se conoce bien si el estrés calórico disminuye el flujo sanguíneo, hay algunas evidencias que sugieren que dicha reducción en el tracto digestivo durante el estrés calórico está influenciado por el consumo del alimento, por lo cual esto puede disminuir la cantidad de nutrientes en el tracto gastrointestinal (Beede y Collier, 1986). Si el ambiente cálido modifica los requerimientos, indirectamente altera las necesidades de consumo de nutrientes, lo cual puede ser más crítico en pastoreo con estrés calórico.

d) **Factores fisiológicos de los animales:** Existe una relación entre la capacidad física y el tamaño corporal. El tamaño del animal determina el volumen de la cavidad abdominal, la cual a su vez limita la expansión volumétrica del rumen durante la ingestión (Forbes, 1986). En forma general se puede decir que los

requerimientos se modifican al incrementarse el tamaño y/o peso metabólico (Allison, 1985). Mertens (1992) estimó que el consumo está relacionado con la capacidad de consumo de fibra detergente neutro (FDN) el cual se estima en función del peso corporal con las siguientes fórmulas:

$$\text{CMS-fill} = \text{NDFIC} / \text{RNDF}$$

$$\text{NDFIC} = 1.1 * (w/100)$$

Dónde:

CMS-fill= Consumo máximo de MS de acuerdo a la capacidad de distensión del rumen;

NDFIC= Capacidad de consumo de FDN, kg/d;

RNDF= Contenido de FDN en la ración, kg/kg MS

w= Peso vivo, kg.

Egan (1980) proporcionaron heno de trébol a ovejas en crecimiento (15-17 kg) y a ovejas en estado adulto (40-45 kg), las ovejas en crecimiento consumieron 19% más heno que las ovejas adultas, aunque la digestibilidad y el tiempo medio de retención medido con marcadores fue similar para los dos grupos, por lo cual concluyeron que el estado fisiológico es determinante en el consumo del forraje.

3.4.1. Consumo de materia seca (MS).

El consumo de MS se incrementa conforme aumenta el PV de los ovinos hasta un punto en donde el consumo de MS alcanza su mayor valor, el cual corresponde a $16.8 \text{ kgPV}^{0.75}$ (lo que equivale a 43 kg de peso corporal). Por ejemplo, para corderos de 15 y

20 kg se esperan consumos de materia seca de 802 g d⁻¹ (5.3 % de su peso corporal) y 1 061 g d⁻¹ (5.3% de su peso corporal) (Castellanos *et al.*, 1991).

Los estudios de crecimiento efectuados con corderos de razas de pelo en pastoreo o con heno de Estrella de África indican que las ganancias diarias de peso obtenidas no son mayores a los 80 g cordero (González *et al.*, 2002). En general, se ha encontrado una respuesta favorable en la ganancia de peso (GDP) cuando los corderos se alimentan con base en el pastoreo y algún nivel de complementación alimenticia (Cruz, 1999).

3.4.2. Requerimiento de energía metabolizable (EM)

Los requerimientos de energía para corderos de 15 kg de peso corporal en crecimiento con ganancias diarias de peso de 50 a 100 g cordero, se han estimado en 1 655 y 2 106 Mcal EM, respectivamente (Castellanos *et al.*, 1991). Los requerimientos de EM para mantenimiento en ovinos Pelibuey según Bores *et al.* (2003) se han estimado en 0.143 Mcal EM⁻¹/kgPV^{0.75}

3.4.3. Requerimiento de PC

No se dispuso de información que documente el requerimiento de proteína cruda para mantenimiento en ovinos Pelibuey, por lo que se ha asumido que puede resultar similar a la de ovinos de razas de lana, la cual es de 2.14 g de proteína cruda digestible por kgPV^{0.75} (Castellanos *et al.*, 1991).

3.5. Digestibilidad.

La digestibilidad la podemos entender como la fracción de alimento que desaparece y es digerido y absorbido en su paso por el sistema digestivo del animal. La digestibilidad

va depender de diversos factores, como, el tamaño de la partícula del alimento, cantidad de fibra y agua consumida, e incluso, el estado fisiológico del animal.

Para determinar la digestibilidad de un alimento se han diseñado diferentes métodos. Estas pruebas nos permiten estimar la cantidad de nutrientes presentes en cierta ración, que a su vez pueden llegar a ser absorbidos por el sistema digestivo del animal. Dichos métodos se denominan aparentes, ya que es difícil cuantificar la cantidad absorbida por el sistema del animal, así como, la cantidad de material endógeno en las heces, lo que lleva a solo una subestimación de digestibilidad verdadera. Los métodos de estimación pueden ser directos o indirectos, los primeros pueden ser jaulas metabólicas, bolsas recogidas, comedores automáticos o catéteres de orina; los indirectos pueden ser *in vivo* como los marcadores, *in vitro* por medio de líquido ruminal, e *in situ* por medio de las bolsas de degradación (Lachmann *et al.*, 1999)

3.5.1. Métodos *in vivo*.

Este método para calcular digestibilidad no es exacto, consiste en medir la cantidad de alimento que consume el animal y las excreciones que se liberan durante un intervalo de tiempo. A estas dos variantes se le aplica la siguiente fórmula.

$$\text{DMS(\%)} = \frac{(\text{Total de alimento consumido} - \text{Total excretado}) \times 100}{\text{Total de alimento consumido}}$$

Los errores que se comenten principalmente son los siguientes: La medición del gas metano no es exacta ya que durante la fermentación se puede perder durante el eructo y no se absorbe. Las heces no solo están compuestas de restos de alimento no digerido, ya que también la constituyen enzimas, células de la mucosa intestinal y

sustancias segregadas por el intestino. Por estos motivos, el resultado de la digestibilidad estimada resulta inferior a la que tendrá el alimento en realidad (Lachmann *et al.*, 1999).

El uso de marcadores es menos laborioso, no requiere medición del consumo de alimento y su excreción fecal, ya que las variables se pueden determinar en las muestras de alimento y heces. Los marcadores deben de tener las siguientes características: no deben de ser tóxicos, no tener efectos fisiológicos, no debe de ser capaces de ser metabolizados por el organismo, no tener efectos sobre la microflora del hospedero, deben de ser inertes, deben recuperarse completamente en heces y alimento, debe mezclarse y distribuirse uniformemente con el alimento, y deben de ser fáciles de medir tanto en las heces como en el alimento (Lachmann *et al.*, 1999).

3.5.2. Métodos *in situ*

Este método consiste en colocar pequeñas muestras de 5 g de Materia Seca en bolsas de material sintético permeable dentro del rumen del animal a través de una fístula. Las muestras se van introduciendo de acuerdo al tiempo que se desee evaluar, es decir, se dejan dentro del rumen, 6, 12, 24 y 76 horas de acuerdo a lo planteado en la evaluación. Al final del periodo de tiempo se sacan del rumen, se lavan y se secan, para pesarlas y, por medio de una adición del material introducido menos el material extraído, se determina la digestibilidad que se produjo. La desventaja es que se debe de contar con animales canulados y se debe tener medidas de higiene para su manejo, ya que se puede modificar el ambiente ruminal (Lachmann *et al.*, 1999).

3.5.3. Métodos *in vitro*

Son métodos de laboratorio donde se hace una imitación del ambiente y de los procesos que ocurren en el tracto gastrointestinal. El método consiste en someter una muestra de peso conocida a una solución que permita simular el efecto digestivo durante un tiempo determinado, después se procede a pesar el excedente que no se degradó. Con estos dos valores y aplicando la siguiente fórmula se puede calcular el porcentaje de degradación (Lachmann *et al.*, 1999).

$$\text{DMS (\%)} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso Final})}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

3.6. Ganancia de peso en ovinos en el trópico

La alimentación ovina está basada principalmente en el pastoreo de gramíneas en pastizales naturales e introducidos (Mosquera *et al.*, 2005). Sin embargo, en las zonas tropicales y subtropicales del país se encuentran factores limitantes para la producción ovina, como, la disponibilidad de pastos, mismos que a través del año varían mucho en cantidad y calidad. El principal problema se encuentra en las épocas de secas, donde el pasto es escaso y de baja calidad.

Dentro de las especies más utilizadas como forrajes en la alimentación animal destacan: *Paspalum spp*, *Brachiara spp*, *Panicum ssp*, *Cynodon spp*, *Echinochloa spp*, *Hemarthria spp*, y algunos otros, que cuentan con potencial nutritivo para la alimentación en pastoreo de estos pequeños rumiantes (CIAT, 2004)

Las necesidades de todos los animales están en función de su edad, es decir animales de menor edad tienen mayores requerimientos de proteína para su crecimiento, en

comparación con animales de mayor edad que tienen mayores requerimientos de energía, que son usados para mantenimiento. Sin embargo, el sistema de alimentación se ve limitado por la cantidad y calidad del forraje. En la etapa post-destete es cuando los corderos manifiestan el potencial para producir carne, por lo que es necesaria la suplementación para aumentar la ganancia de peso y reducir el tiempo al sacrificio (Cabrera *et al.*, 2000).

Cuando se alimentan a los corderos en pastoreo, es cuando aumenta la incidencia de parásitos, principalmente nemátodos gastrointestinales, ya que las praderas se encuentran altamente infestadas (Cuellar, 2004), esto lleva a que el productor recurra a los desparasitantes, y su uso constante ha provocado resistencia antihelmíntica, afectando el crecimiento y la salud de los corderos (González, 1995).

Otros de los factores que definen la producción en las explotaciones son las condiciones climáticas. Las regiones tropicales suelen generar estrés en los animales por las altas temperaturas y humedad ambiental (Oliva y Vidal, 2001). El efecto del clima está ligado a la mortalidad por medio de una serie de factores, los cuales actúan predisponentes a la ocurrencia de una determinada enfermedad, siendo los corderos los más susceptibles. Sin embargo, sabemos que existen otros factores determinantes como el área geográfica, clima, condiciones de manejo, alimentación, y raza.

En las regiones tropicales podemos encontrar tres diferentes sistemas de alimentación:

a) Pastoreo.

Es el sistema más usado en el trópico y más barato, ya que el manejo es mínimo, sin embargo, el nivel productivo de los animales es bajo, ya que no se tiene un control

sobre lo que consumen los animales, por lo general, encontramos forrajes de baja calidad. Algunos autores han encontrado ganancias de peso alrededor de 45 a 50 g animal⁻¹ día⁻¹ en corderos desparasitados y de 25 a 30 g animal⁻¹ día⁻¹ en animales no desparasitados, con una carga animal de 20 a 30 animales ha⁻¹ (equivalente a 2 a 3 UA ha⁻¹) (Vázquez *et al.*, 2006).

b) Pastoreo más suplementación.

Se proporciona una suplementación, la cual cubre las deficiencias nutricionales de los alimentos obtenidos en el pastoreo, por lo cual se obtienen mejores ganancias de peso. Esta suplementación en ovinos se realiza cuando existe menor producción de forrajes, es decir épocas de secas y nortes (Saldivar, 1998).

c) Estabulación con suplementación integral.

Es el sistema donde podemos encontrar mejores ganancias de peso, logrando hasta 140 g animal⁻¹ día⁻¹, sin embargo, presenta desventajas, como la necesidad de inversión en instalaciones, materias primas y mano de obra. Además se prefieren razas mejoradas que permitan eficientizar la conversión alimenticia, es decir, un menor consumo de alimento y una mejor ganancia, lo cual permite reducir el periodo de engorda (Vázquez *et al.*, 2006), tal es el caso de la raza Pelibuey en la cual se ha logrado reducir los días al sacrificio (Macedo y Arredondo, 2008).

Unas de las técnicas utilizadas en los últimos años en la alimentación de ovinos son los bloques multinutricionales (BMN), considerados como una alternativa para compensar la falta de nutrimentos en los pastos. Su elaboración es fácil y económica ya que

permite la utilización de productos locales como materia prima, principalmente follaje de árboles previamente secado y molido, el uso de estos ayuda a mantener un consumo constante del alimento lo cual a su vez incrementa el consumo de MS permitiendo mayores ganancias de peso en ovinos estabulados (Hernández y Enríquez, 2004).

González (2007) presenta resultados en corderos alimentados con pasto Taiwán y bloques multinutricionales (BMN) elaborados de manera artesanal (Melaza, harina de cocohite, cal, urea y sales minerales), donde se obtuvo mejores resultados en ganancia de peso con BMN (0.082 ± 0.010 Kg) a diferencia del grupo testigo (0.045 ± 0.016 Kg).

Los bancos de proteína y energía es otra de las alternativas usadas en la alimentación ovina, siendo una alternativa más en la alimentación animal cuando existe la escasez de alimento. Se han publicado estudios realizados con varias especies de forrajes de corte en combinación con algunas especies como yuca (*Manihot esculenta*) en la alimentación de ovinos y cabras (Eys *et al.*, 1987), leguminosas como el chícharo Gandul (*Cajanus cajan*) (Brown *et al.*, 1988), Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y otras (Hernández, 2004).

Los sistemas silvopastoriles son una alternativa de alimentación y producción sostenible, ya que son ventajosos a mediano y largo plazo, ésta permite reducir el impacto hacia los recursos naturales y el medio ambiente sin descuidar la producción animal (Kú *et al.*, 1999). Una arbustiva implementada en este tipo de sistemas es el tulipán, la cual tiene un alto contenido de proteína (mayor a 18% PC), y con una alta digestibilidad de 65%.

Otra especie estudiada por Aranda (1994), fue la hoja de plátano como suplementación de ovinos en pastoreo, logrando incrementar las ganancias de peso a 71 g en machos y 59 g en hembras, con un consumo de 229 g animal⁻¹ día⁻¹ en 68 días.

También se ha estudiado el efecto de los productos de la fermentación en la alimentación de ovinos. Blardony-Ricardez, *et al.*, (2013) evaluó la ganancia de peso en corderos con la utilización del Vitafert en la lactancia y su efecto en el postdestete, con caña de azúcar, obteniendo promedios de GDP de 48 ± 60 g con un coeficiente de variación alto (126.60%) originado porque algunos animales perdieron peso, otros se mantuvieron estables y algunos más tuvieron GDP superiores a los 50 g día⁻¹.

3.6.1. Ganancia de peso y factores que influyen.

La ganancia de peso es aumento de peso corporal durante el desarrollo o crecimiento de un animal en un tiempo determinado, el cual se puede estimar por diferencia entre el peso final y el peso inicial de un individuo, en un tiempo determinado según el objetivo de la explotación (De La Cruz *et al.*, 2005).

De igual manera puede medirse tomando la variable GDP de un individuo, ésta puede estar influenciada por factores genéticos: raza, ambiente (externos) y fisiológicos. Dentro de los factores externos se encuentran el ambiente y las propiedades del alimento; y dentro de los fisiológicos: unos de los más importantes es la actividad microbiana en el rumen (Elías, 1983), si ésta se ve afectada reduce el aprovechamiento de los nutrientes y por lo tanto disminuye la GDP, lo que origina que los animales tarden más en alcanzar su peso adulto (De La Cruz *et al.*, 2005).

3.6.2. Factores que afectan el crecimiento y la ganancia de peso.

La raza o cruce, el sexo, la edad, peso y tipo de parto, son los factores que están más vinculados a la ganancia de peso y al comportamiento productivo del animal en pastoreo.

La época climática puede influir cuando el sistema de producción es a base de pasto debido a la estacionalidad que presentan los pastos en zonas tropicales (Mora-Morelos *et al.*, 2005). En estudios realizados, donde se han comparado animales nacidos en distintas épocas del año, se han encontrado ganancias de peso diferentes, esto se puede deberse a la disponibilidad del forraje en la pradera, con los que se benefician los nacidos en épocas con abundancia de pastura, lo que permite la mejor alimentación y aporte de nutrientes durante el periodo de lactación (Hinojosa, 2012).

Para la producción animal, la raza es de gran interés, por las diferencias que existen en el peso adulto a la madurez, si la nutrición no es limitante, tienden a alcanzar la madurez sexual (pubertad) y el peso adulto a la misma edad. Artida y Martínez (2010) no encontraron diferencias al comparar la eficiencia alimenticia en dos razas, donde ambas necesitaron cuatro unidades de alimento por cada una de aumento. En otra investigación donde se estudió el efecto raza-sexo y suplementación en ovinos Pelibuey (Pb) y Pb x Hampshire en pastoreo (Duarte, 2009), se observaron diferencias ($P < 0.05$) solamente para el efecto de la suplementación.

En otros estudios se ha encontrado que las corderas muestran una menor tasa de crecimiento postdestete en comparación a los machos, este efecto es independiente del sistema de alimentación utilizado (González *et al.*, 2002). Esta ampliamente documentado que el crecimiento de los machos es mayor que el de las hembras y que

éstas empiezan a engrasarse a un peso menor que los machos. También por cada unidad de aumento de peso los machos requieren menos alimento; la diferencia llega a ser de un kilo de alimento, por lo que tiene implicaciones económicas importantes.

Aranda (1994) reportó en ovinos en pastoreo suplementados con hojas de plátano, 71 g en machos y 59g en hembras, además analizó la relación del sexo con la GDP. Esta variable está altamente relacionada con el peso, ya que en los primeros meses de vida (antes del destete) el crecimiento es rápido, en seguida en el posdestete se vuelve lento hasta alcanzar el máximo peso, para posteriormente. En los sistemas de producción de ovinos destinados a la engorda, se recomienda iniciar a los 90 días con un peso promedio de 14 kg, ya que es, en este momento, donde se logran rápidos incrementos de peso según la raza.

El peso al nacimiento es otro de los factores que afecta la GDP en ovinos, ya que los corderos con menor peso al nacimiento tienen una mayor probabilidad de morir o presentar baja ganancia respecto a los corderos de mayor peso al nacimiento (Quintero *et al.*, 1997).

3.7. Probióticos

La Food and Agriculture Organization (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) define a los probióticos como microorganismos benéficos que al ser suministrados en estado activo en cantidades óptimas tiene un efecto positivo dentro del hospedero.

Estos organismos liberan ácidos grasos de cadenas cortas (AGCC) que acidifican el pH del intestino impidiendo la proliferación de bacterias patógenas y beneficiando la adherencia de bacterias benéficas a éste. Otras de sus funciones es ayudar a la

absorción de ciertos minerales. Mejora el proceso metabólico por la presencia de bacterias que ayudan a agilizar dicho proceso. También, ayudan a la prevención de la diarrea (infecciosa o por el suministro de antibióticos), alivian los síntomas causados por la intolerancia a la lactosa, modulan la microflora, reducen los síntomas de enfermedades intestinales e inflamatorias, normalizan las evacuaciones y mejora la consistencia de las heces y absorción de minerales (FAO y OMS, 2001).

3.7.1. Probióticos en nutrición animal

Unos de los primeros trabajos sobre el uso de bacterias benéficas fueron los indicados por Metchnikoff (1908), a principio de siglo, donde se menciona que algunas bacterias intestinales, adicionadas al concentrado o al agua de bebida provocaban una respuesta favorable en la producción animal.

Por la heterogeneidad que presentaron los microorganismos utilizados no se logró agruparlos en un término específico. Siendo 1974 cuando se utilizó por primera vez el término probiótico, en oposición al de antibiótico. La idea, que en su etimología parecía adecuada no era totalmente correcta, el concepto de aditivo biológico no parece tampoco reflejar con exactitud cuánto de específico y diferencial tiene este grupo de microorganismos, cuyos efectos enzimáticos son muy distintos de los que corresponden a su acción antagónica microbiana (Metchnikoff, 1908).

3.8. Modelación matemática

Los modelos matemáticos son representaciones del comportamiento y funcionamiento de un sistema por medio de ecuaciones matemáticas, dicha representación cuenta con un grado de error (France y Thornley, 1984). Este puede estar compuesto de varios submodelos que representen los diferentes procesos que engloban un todo.

Se define como sistema al conjunto de componentes relacionados entre sí con la finalidad de formar un todo organizado. El objetivo de un modelo es el de analizar el comportamiento del sistema o bien predecir su comportamiento futuro.

Ejemplos de sistema que pueden explicarse con la modelación matemática son: la degradación de la materia consumida por los animales, la ganancia de peso, la fermentación en el rumen (en el caso de los rumiantes), entre otros (Villalobos, *et al.*, 2000; Duarte, *et al.*, 2009).

3.8.1. Características de los modelos.

En los modelos es importante tener exactitud y precisión. La primera se refiere a que tan cercanos son los valores de predicción o medias a los valores reales; mientras que la segunda hace referencia a qué tan cerca están los valores individuales del modelo predicho con respecto a los demás valores predichos, es decir, que habilidad tiene para generar y replicar los resultados (Ortega, 2006; Tedeschi, 2006).

Por otro lado Robinson (2005), nos dice que son cuatro las características importantes en un modelo, las cuales se describen a continuación.

- **Validez:** se refiere a que si el modelo es lo suficiente exacto para los propósitos que fue creado.
- **Utilidad:** la aplicación práctica del modelo.
- **Credibilidad:** la factibilidad del modelo a una acreditación, es decir, que las personas que lo usen tengan la suficiente confianza en el modelo y sus resultados.

- **Viabilidad:** consiste en la posibilidad de desarrollar y utilizar el modelo en el tiempo y con los datos disponibles.

3.8.2. Tipos de modelos

Los modelos matemáticos utilizados en la producción animal son variados y pueden clasificarse de acuerdo a sus características de jerarquía, tiempo o distribución de probabilidad (France y Thornley, 1984; Ortega, 2006; Tedeschi, 2006).

Tipos de modelos de acuerdo a sus características:

a) Nivel de jerarquía organizacional

- **Empírico:** Describe tendencia de datos y se encuentran dentro del mismo nivel jerárquico, es decir cada nivel de jerarquía no depende de niveles superiores o inferiores.
- **Mecánico:** describe y da explicación de procesos, es decir cierto nivel de jerarquía esta explicado o fundamentado por un nivel menor.

b) Tiempo.

- **Estáticos:** no contienen el tiempo como variable.
- **Dinámico:** tienen la variable tiempo explícitamente incluida en el modelo.

c) Distribución de probabilidad.

- **Determinístico:** hacen predicciones definitivas sin ninguna acción a distribuciones de probabilidad, es decir manejan constantes, por ejemplo medias poblacionales.
- **Estocásticos:** se encuentran asociadas a distribuciones de probabilidad, por ejemplo rangos en repeticiones.

Los modelos empíricos de nutrición y crecimiento han evolucionado a modelos mecanísticos debido a que su explicación del comportamiento en el sistema, depende de niveles superiores y/o inferiores. Un modelo mecanístico es más sensible ante diferentes condiciones y también permite la incorporación de avances recientes en el conocimiento de procesos metabólicos. En la actualidad existe una creciente necesidad para la aplicación de modelos que tomen en cuenta mecanismos fisiológicos de crecimiento y que puedan ser adaptados a varias situaciones nutricionales (Hoch y Agabriel, 2000).

3.8.3. Validación

Para comprobar si los modelos cuentan con las características antes descritas, debe de haber una validación, la cual es una evaluación del modelo que permitirá conocer el nivel de precisión y exactitud. La validación es la comparación de las predicciones del modelo con los valores observados en un sistema real y así se determina si el modelo es adecuado para el propósito establecido (Halachmi *et al.*, 2004). La validación es necesaria para su aceptación (Robinson, 2005). Su validez va en función de su precisión y a su vez en función de rangos aceptables de acuerdo a su finalidad.

3.8.4. ¿Cómo ayuda un modelo matemático?

Los modelos matemáticos aplicados en la ciencia animal son utilizados para estimar el comportamiento, reducir costos de producción, y mejor aprovechamiento de nutrientes, mismo que permitirá tener una mejor percepción en la variación de requerimientos y la utilización de alimentos en diferentes situaciones que se pueden encontrar en la unidad de producción (Tedeschi *et al.*, 2005).

Los modelos también permiten estimar la respuesta animal al tomar en cuenta diversos factores entre los que se encuentran: la calidad y cantidad del forraje o concentrado y tipo de suplemento utilizado en diversas condiciones climáticas (Fox *et al.*, 1990). En resumen el modelo permitirá buscar mejores condiciones para la eficiencia del animal en la producción.

3.8.5. Modelos utilizados en la nutrición animal

En el área de ciencia animal actualmente encontramos diversos modelos de simulación dentro de los cuales se han propuesto los siguientes:

National Research Council (NRC, 2007): con este modelo se pueden predecir ganancias de peso, por medio de dos niveles: a) utiliza valores tabulares de energía de los alimentos y el sistema de proteína metabolizable (MP) desarrollada por Burroughs en 1974; b) utiliza el modelo ruminal de Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS), para predecir la energía digestible de los ingredientes, la fermentación de las proteínas y carbohidratos, así como el crecimiento de la población bacteriana.

Institut National of the Reseach Agronmique (INRA, 1981), sus cálculos se basan en el requerimiento de proteína digestible en el intestino, relacionando el nitrógeno que llega al rumen con lo absorbido, digerido y excretado por el animal (Jarrige, 1989).

Commonwealth Scientific and Industrial Reseach Organization (CSIRO, 1990): se obtienen requerimientos nutrimentales considerando aspectos de ganado en pastoreo,

donde se contempla el gasto de energía para mantenimiento generado por la actividad del animal, edad, sexo y raza.

Agricultural and Food Research Council (ARFC, 1992): se obtienen los requerimientos de energía y proteína de vacas, ovejas y cabras.

Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS, 1993). Este modelo se utiliza para predecir la energía digestible de los ingredientes, la fermentación de las proteínas y carbohidratos, así como crecimiento de la población bacteriana.

Estos modelos de simulación están basados en la construcción de un sistema de ecuaciones matemáticas de las cuales su objetivo es representar un sistema real del cual puedan obtenerse resultados los más real posible, denominados predicciones (Ortega *et al.*, 2011).

Los modelos matemáticos están determinados por dos tipos de variable, las de entrada y las de salida (Ortega, 2006). Las variables de entrada son factores que dan origen a cambios en el comportamiento del sistema; mientras que las de salida son el resultado de la interacción de las variables de entrada y puede dar entrada a otro sistema. Tenemos que considerar que los modelos deben de cumplir objetivos específicos y en la mejor medida ser complejos pero hasta un límite basado en su utilidad y objetivos, ya que la complejidad de un modelo es interpretada en términos de su amplitud y el nivel

de detalle conocido como profundidad (Robinson, 2005), sin embargo, a mayor complejidad existe más error en la exactitud.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Degradación.

4.1.1. Fase de campo.

La degradación *in situ* fue determinada por la metodología de Orskov, 1979, la cual consiste en introducir las muestras de alimento en el rumen de animales fistulados, con la finalidad de obtener la degradación del alimento en el líquido ruminal. Las muestras de cada uno de los tratamientos se introdujeron para la incubación en dos bovinos y tres repeticiones para obtener un total de seis repeticiones por muestra, a excepción de las muestras del tiempo cero, donde se tuvieron tres repeticiones por tratamiento, porque no era necesario obtener la degradación. En total se tuvieron 195 muestras.

Tabla 1. Distribución de tratamientos y sus repeticiones

Tratamientos y Repeticiones							Total	
Horas de Incubación	% de Saccharina							
	0	10	20	30	40			
0	3	3	3	3	3	15	Pre-incubación	
2	6	6	6	6	6	30	Pots incubación	
4	6	6	6	6	6	30		
6	6	6	6	6	6	30		
12	6	6	6	6	6	30		
24	6	6	6	6	6	30		
36	6	6	6	6	6	30		
Total de Tratamientos con repeticiones	39	39	39	39	39	195		

Las muestras de 5 g se colocaron en bolsas de poliseda de 10 x 20 cm, mismas que se secaron, se pesaron previamente, y se cerraron con ligas. Las muestras se

introdujeron al rumen iniciando con las de mayor tiempo (36 horas) y al final las de menor tiempo (2 horas). Una vez concluidos los tiempos, se extrajeron las bolsas de los animales, y se lavaron con abundante agua, para después colocarlos en la estufa por 48 horas para secarlas. Una vez concluido el tiempo de secado se pesaron, y por medio del siguiente cálculo se obtuvo el porcentaje de degradación (%) para la construcción de la curva.

$$\% \text{ de degradación} = \left(\frac{\text{peso inicial de la muestra} - \text{peso residual de la muestra}}{\text{peso residual de la muestra}} \right) * 100$$

Para la determinación de la DE a las 36 horas, se utilizó un modelo inverso, desarrollado para este trabajo por el Dr. Luis Manuel Vargas Villamil, director de la tesis, el cual consiste de un sistema de ecuaciones diferenciales a partir de los conceptos de degradación efectiva definidos por Noguera (2007), y descrito a continuación:

$$\begin{aligned} dS/dt &= -\text{Degradacion}; & dSE/dt &= -\text{Degradacio_efectiva-} \\ \text{Pasaje}; dD/dt &= \text{Degradacion}; & dDE/dt &= \text{Degradacion_efectiva}; & \text{Pasaje} &= k_p * SE; \\ \text{Degradacion} &= k_d * S; & \text{Degradacion_efectiva} &= k_d * SE. \end{aligned}$$

Con los valores iniciales: INIS = 100 - fSD; INISE = 100 - fSD; INID = fSD; INIDE = fDE; fSD = 50; kd = 0.03; kp = 0.03; Donde: S = Substrato para cálculo de la degradación; SE = Substrato para cálculo de la degradación efectiva; D = Material degradado; DE = Material degradado tomando en cuenta la tasa de pasaje (Degradación efectiva); fSD = Fracción soluble; INIx = Valor inicial de la variable de estado x. El modelo fue ajustado para la estimación de la fracción soluble (fSD) y tasa de degradación (td) a partir de las curvas de degradación in situ de cada tratamiento al que se le hizo un análisis químico. La DE correspondió al

valor de la variable del mismo nombre al tiempo 36 h. El programa utilizado para el ajuste de los parámetros y la obtención de la DE fue Berkeley Madonna v8.01 (Macey, *et al.*, 2010).

4.1.2. Fase de Laboratorio.

4.1.2.1. Degradación *in situ* de la materia seca (MS).

A las muestras obtenidas de la pre incubación y post incubación, se les realizaron las siguientes pruebas de laboratorio.

- ✓ Materia Seca (AOAC,2000)
- ✓ Cenizas (AOAC,2000)
- ✓ Proteína Cruda (Kjeldahl, 1992)
- ✓ FDN (Van Soest *et al.*, 1991)

Cálculo de la degradación *in situ* de la FDN.

Para obtener los valores de degradación *in situ* de la FDN se utilizaron los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio. Primero se determinó el porcentaje de FDN en el alimento pre incubación, posteriormente se determinó el porcentaje de FDN en cada uno de los tiempos de incubación y posteriormente por medio de una sustracción se determinó el porcentaje de FDN degradada en cada uno de los tiempos.

4.1.3. Fase de gabinete.

4.1.3.1. Diseño experimental.

El experimento fue de tipo factorial 5 x 7; donde el factor A, dieta (Saccharina + % de maíz), fue evaluado en cinco niveles: 0, 10, 20, 30, y 40 % de maíz; el factor B, tiempo de degradación, fue estudiado en siete niveles: 0, 2, 4, 6, 12, 24, y 36 horas. La combinación de los dos factores y sus respectivos niveles genera un total de 35 tratamientos, mismos que fueron alojados en un diseño experimental de bloques al azar generalizados con tres repeticiones. Cada uno de los dos animales utilizados en el experimento constituyó un bloque.

4.1.3.2. Análisis estadístico.

Para cada una de las variables estudiadas, degradación *in situ* de la materia seca (DIMS), y degradación *in situ* de la fibra detergente neutro (DIMS), se realizó un análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental propuesto y al siguiente modelo lineal: $Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \gamma_k + \pi_{ijk} + \theta_{jk} + e_{ijkl}$; para $i = 1, 2$; $j = 1, 2, \dots, 5$; $k = 1, 2, \dots, 7$; $l = 1, 2, 3$; donde Y_{ijkl} representa la observación en el i -ésimo Animal o bloque, el j -ésimo nivel del factor A con el k -ésimo nivel del factor B y la l -ésima repetición; μ es la media general; β_i es igual al efecto aleatorio del i -ésimo Animal; α_j equivale al efecto fijo del j -ésimo nivel del factor A; γ_k es el efecto fijo del k -ésimo nivel del factor B; π_{ijk} es el efecto aleatorio de la interacción Animal x A x B; θ_{jk} es la interacción A x B; y e_{ijk} es el error aleatorio.

Por otro lado, la degradación efectiva (DE) de la MS (DEMS), de la DE de la FDN (DEFDN), la fracción soluble (FS) de la MS (FSMS), la FS de la FDN (FSFDN), la tasa

de degradación (kd) de la MS (kdMS) y la kd de la FDN (kdFDN), fueron calculadas y analizadas de acuerdo al diseño experimental mencionado anteriormente, pero sin incluir el factor tiempo de degradación (horas) en el modelo.

Posteriormente, para la interacción dieta (A) por tiempo (B) y efectos principales que resultaron significativos ($p < 0.05$) se realizó una prueba de comparación múltiple de medias mediante el método de Tukey. La información fue procesada mediante los procedimientos glm y mixed del software para análisis estadístico SAS versión 9.3.

4.2. Ganancia de peso.

4.2.1. Fase de campo.

4.2.1.1. Ubicación.

El experimento se realizó en Pueblo Nuevo, Municipio de Salto de Agua, Chiapas, México, el cual se encuentra a una altitud de 85 msnm, con coordenadas 17° 34' latitud Norte y 92° 20' longitud Oeste. El clima de la región es Af (m) w'(i)g, es decir, cálido húmedo con lluvias todo el año. La temperatura promedio anual es 26.6 °C y la precipitación de 3,289.1 mm (García, 1988).

4.2.1.2. Manejo de los animales

El experimento se desarrolló del 10 de agosto al 27 de octubre del 2011. Se utilizaron 24 corderos cruza Katahdin por Pelibuey, recién destetados de cuatro meses de edad y un peso promedio de 17 ± 3 kg, con los cuales se formaron cuatro grupos de seis corderos considerados como unidades experimentales que se colocaron en corrales individuales con piso de cemento. Cada corral contaba con un comedero individual y se les proporcionaba agua a libertad.

Los corderos se desparasitaron al inicio del experimento con albendazol a una dosis de 10 mg kg⁻¹ PV por vía oral. También se realizó un muestreo de sangre para determinar el volumen celular aglomerado al inicio del experimento. Los corderos estaban vacunados contra septicemia hemorrágica y fiebre carbonosa.

Los corderos se sometieron a un período de adaptación de 15 días, periodo en el cual se fueron acostumbrando al alimento, en la primera semana se les proporcionó Saccharina, y en la segunda se les suministró la combinación de Saccharina con maíz, de acuerdo a los porcentajes establecidos en cada tratamiento. El alimento se les proporcionó dos veces al día.

El experimento tuvo una duración de 105 días, en los que se incluyó el periodo de adaptación, por lo que en 90 días del periodo de experimentación se midió el consumo de alimento así como el cambio de peso.

Para medir el consumo voluntario de cada uno de los animales se registró el peso del alimento ofrecido y rechazado de manera individual. Se proporcionaban 2 kilos de alimento por ocasión y se pesaba el rechazo al siguiente día antes de proporcionarle de nuevo el alimento. Cada mes se hizo un ajuste en el alimento ofrecido para permitir que los corderos tuvieran al menos 15 o 30 % de desecho y asegurar que el consumo era a libertad. La diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado fue considerada como el consumo. El registro de esta variable se realizó cada tercer día.

En el caso de la ganancia de peso, ésta se calculó con el peso semanal de los animales, y consistió en obtener el cambio de peso entre los días transcurridos. Esta actividad se realizaba por las mañanas, antes de ofrecer el alimento del día.

4.2.1.3. Preparación de la Saccharina y el probiótico

El principal componente de las dietas (Saccharina) que se ofreció a los corderos fue elaborado con caña producida dentro de la unidad de producción, la cual tenía al menos seis meses de crecimiento.

La Saccharina proporcionada a los corderos estuvo compuesta por caña de azúcar (54 a 84 %), pasta de soya 4%, maíz (proporciones variables de 10, 20, 30 y 40%), urea 1%, sulfato de magnesio 0.5% y minerales 0.5%.

El proceso de elaboración de este alimento consistió en realizar el corte de caña un día antes de su utilización, posteriormente se molió en una picadora de forrajes (verdes y secos) marca Power de 8 HP, modelo PFA 3000. Después de la molienda se revolviaron todos los ingredientes y se extendió la mezcla sobre una superficie plana, dejándola fermentar por 24 horas. al término de este proceso, se embolsó para su conservación, la cual variaba de 8 a 12 días, período en el cual era suministrado a los animales de acuerdo a las cantidades diarias establecidas en el experimento. A la Saccharina se le realizaron análisis bromatológicos (AOAC, 2005; Van Soest, 1991).

4.2.2. Fase de gabinete.

4.2.2.1. Diseño experimental

Los cuatro tratamientos, los alimentos o dietas en estudio fueron alojados en un diseño experimental Completamente al azar con medidas repetidas y seis repeticiones; también, en el presente diseño fue incluido un factor dentro de sujetos, muestreo semanal del peso (7); el cual constituyó el factor de medidas repetidas.

4.2.2.2. Análisis estadístico

Para el caso de las variables peso vivo (PV) y ganancia de peso (GDP), se realizó un análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental propuesto y al siguiente modelo lineal mixto:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \pi_{(k(i))} + e_{ijk}$$

Dónde:

$$i = 1, \dots, 4.$$

$$j = 1, 2, \dots, 7$$

$$k = 1, 2, \dots, 6$$

Y_{ijk} : Representa la observación en el i-ésimo tratamiento, el j-ésimo muestreo con el k-ésimo animal;

μ : es la media general

α_i : es igual al efecto fijo del i-ésimo tratamiento

β_j : equivale al efecto fijo del j-ésimo muestreo

γ_{ij} : es el efecto de la interacción tratamiento por muestreo

$\pi_{(k(i))}$: es el efecto aleatorio del k-ésimo Animal dentro del i-ésimo tratamiento

e_{ijk} : es el error aleatorio.

Posteriormente, para la interacción tratamiento por muestreo y efectos principales que resultaron significativos ($p \leq 0.05$) se realizó una prueba de comparación múltiple de medias mediante el método de Tukey. La información fue procesada mediante los procedimientos glm y mixed del software para análisis estadístico SAS versión 9.3.

V. RESULTADOS

5.1. Degradación

El análisis de varianza indica que hubo diferencias estadísticas significativas en los valores de las variables degradación de la materia seca (DIMS) y degradación del fibra detergente neutro (DIFDN); atribuibles a las fuentes de variación de la interacción dieta x tiempo de degradación ($p < 0.0001$) (Tabla 3), y en el efecto del factor aleatorio del animal ($p < 0.05$). La interacción existente entre las dietas y los tiempos de degradación muestra que el efecto de la dieta es diferente en cada tiempo de observación; situación que podemos observar en las líneas de tendencia de cada una de las dietas (Tabla 3 y 4).

Para la variable DIMS, la dieta con 0 % de adición de maíz presentó los valores más bajos en todos los tiempos evaluados a excepción del tiempo 0, mientras que la dieta con 40 % en el tiempo cero evidenció el valor más bajo, 47.20 %, y finalizó con el valor más alto, 86.29 %, en el tiempo 36 (Tabla 3). Las dietas con alguna cantidad de adición de maíz mostraron similitudes en los tiempos 24 y 36 horas, sin embargo la dieta con 10 % presentó un crecimiento más elevado y constante través de todo el tiempo de evaluación seguida de la dieta con 20 % (Tabla 3). Dado lo anterior, y al comparar los promedios de las dietas, efecto principal (Tabla 4), podemos concluir que el tratamiento con 10 % de adición de maíz con el promedio de degradación más alto, 75.90 %, se comporta diferente al resto de las dietas.

En cuanto a la variable FDN, de manera general, las dietas con 0, 30 y 40 % de adición de maíz presentaron los valores más bajos, y las dietas con 10 y 20 % de adición de

maíz mostraron los valores más elevados en todos los tiempos evaluados (Tabla 3). Las dietas con 10 y 20 % muestran mejor desempeño en los tiempos de 2 a 36 horas, y aunque la dieta con 20%, finaliza con más degradación en el tiempo 36 (Figura 3), la dieta con 10 %, es diferente estadísticamente a las otras dietas (Tabla 4).

Tabla 2. Efecto de la interacción dieta por tiempo de degradación en la materia seca (DIMS) y fibra detergente neutro (DIFDN).

Variable	Dieta	Tiempos de Degradación (h)						
		0	2	4	6	12	24	36
DIMS	0	57.18 ^b	59.06 ^c	64.02 ^b	69.44 ^{bc}	73.21 ^b	75.43 ^b	75.57 ^b
	10	65.67 ^a	72.44 ^a	73.27 ^a	76.30 ^a	80.49 ^a	81.17 ^a	82.45 ^a
	20	56.73 ^b	69.98 ^b	68.40 ^b	73.78 ^{ba}	76.79 ^{ba}	81.10 ^a	84.07 ^a
	30	59.61 ^b	59.84 ^c	64.38 ^b	69.17 ^c	75.81 ^b	81.48 ^a	83.93 ^a
	40	47.20 ^c	61.18 ^c	64.11 ^b	70.47 ^{bc}	75.77 ^b	82.93 ^a	86.29 ^a
	E.E		1.5290					
DIFDN	0	17.38 ^b	19.20 ^c	29.08 ^d	40.93 ^{bc}	48.01 ^b	48.92 ^{ba}	53.73 ^{ba}
	10	45.10 ^a	48.05 ^a	52.82 ^a	54.76 ^a	58.61 ^a	56.19 ^a	60.37 ^a
	20	39.41 ^a	42.27 ^{ba}	48.93 ^{ba}	50.28 ^{ba}	49.16 ^b	53.49 ^{ba}	61.52 ^a
	30	47.91 ^a	36.23 ^b	42.93 ^{bc}	42.58 ^{bc}	47.45 ^b	46.45 ^{bc}	54.42 ^{ba}
	40	22.50 ^b	43.41 ^{ba}	36.47 ^{dc}	38.57 ^c	31.91 ^c	38.48 ^c	46.52 ^b
	E.E		3.2666					

^{abc} Medias con diferente superíndice en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Tabla 3. Efecto de la dieta en la materia seca (MS) y fibra detergente neutro (FDN).

Dieta	Variables	
	MS	FDN
0	67.70 ^d	36.75 ^d
10	75.97 ^a	53.70 ^a
20	72.55 ^b	49.29 ^b
30	70.60 ^c	45.42 ^c
40	69.71 ^d	36.84 ^d
E.E	0.4087	0.8730

^{abc} medias con diferente superíndice en columnas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los resultados del análisis de varianza, para las variables, degradación efectiva de la materia seca (DEMS), fracción soluble de la materia seca (FSMS), kdMS, degradación efectiva de la fibra detergente neutro (DEFDN), fracción soluble de la fibra detergente neutro (FSFDN) y kdFDN, muestran que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el factor dietas.

Para la DEMS, todas las dietas presentan en orden ascendente sus valores, es decir, a la dieta con 0 % le corresponde el valor más bajo, y a la dieta con 40 % el valor más alto; resultando estadísticamente iguales las dietas con 10, 20, 30, y 40 %, en tanto que la dieta con 0 % es similar con la dieta con 10 %. Existiendo diferencias estadísticas para las dietas 20, 30 y 40 % con la dieta 0 % que presentó el valor más bajo, 78.65 % de degradación efectiva de la materia seca (Tabla 5).

Para la FSMS, la prueba de comparación múltiple permite identificar tres grupos de dietas estadísticamente diferentes, el primer grupo que incluye las dietas con 0, 30, y 40 %, el segundo grupo con la dieta con 20 %, y el tercer grupo que incluye la dieta con 10 %. Las dietas con 0, 30 y 40 % resultaron ser estadísticamente iguales y

evidenciaron los valores menores, siendo el valor menor 60.35, el cual corresponde a la dieta con 30 %. Por su parte, las dietas con 10 y 20 % presentaron los valores más elevados, siendo la dieta con 10 % la más efectiva con 73.14 de fracción soluble (Tabla 5).

Para la tasa de degradación de las materia seca (kdMS), las dietas con 30 y 40 % resultaron estadísticamente iguales y presentaron las mayores tasas, la más alta para la dieta con 40 % igual a 0.0342, por el contrario las dietas con 0 y 10 %, estadísticamente iguales, presentaron los valores menores, 0.0144 para la dieta con 10 %. La dieta con 20 % fue diferente solo con la dieta con 40 % y tuvo un valor intermedio, 0.0228.

Para la DEFDN, las dietas toman valores en forma de parábola, es decir, para dietas con poco porcentaje de adición de maíz se tienen valores bajos de degradación efectiva, valores intermedios de adición de maíz ocasionan valores intermedios y valores mayores de adición de maíz general valores bajos; la dieta con 40 % con un valor igual a 42.68, el más bajo, fue estadísticamente diferente de la dieta con 30 % que presentó un valor intermedio, en tanto que las dietas con 0, 10, y 20 %, estadísticamente iguales, constituyen los valores más altos (Tabla 5).

Tabla 4. Efecto de la dieta en la degradación efectiva, fracción soluble y la tasa de degradación de la materia seca (MS) y fibra detergente neutro (FDN).

Dieta	Variables					
	DEMS	FSMS	kdMS	DEFDN	FSFDN	kdFDN
0	78.65 ^b	62.60 ^c	0.0159 ^c	58.06 ^a	26.48 ^d	0.0159 ^a
10	83.96 ^{ba}	73.14 ^a	0.0144 ^c	60.81 ^a	51.31 ^a	0.0060 ^b
20	85.50 ^a	67.10 ^b	0.0228 ^{bc}	60.21 ^a	44.48 ^b	0.0093 ^{ba}
30	86.87 ^a	60.35 ^c	0.0308 ^{ba}	50.99 ^{ba}	38.99 ^c	0.0078 ^{ba}

40	88.46 ^a	60.43 ^c	0.0342 ^a	42.68 ^b	37.38 ^c	0.0037 ^b
E.E	0.9336	0.5968	0.0018	1.8968	0.4881	0.0013

^{abc} medias con diferente superíndice en columnas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

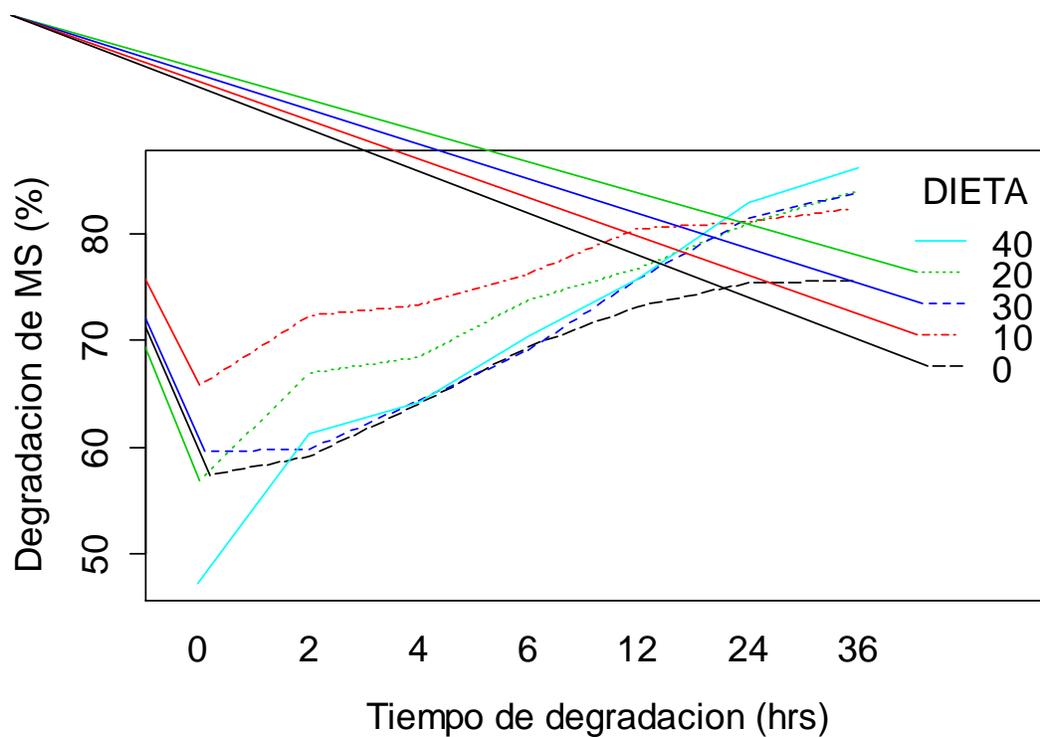


Figura 2. Gráfica de la interacción Dieta x Tiempo de degradación de la materia seca.

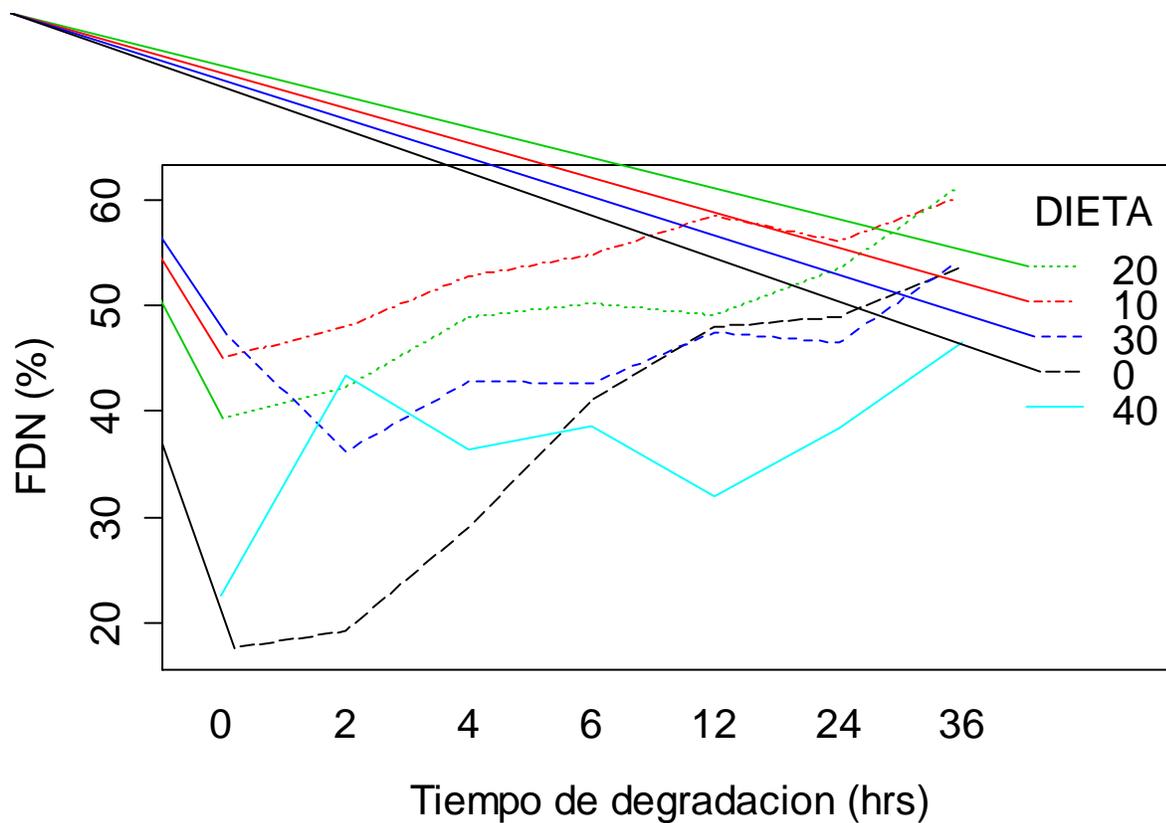


Figura 3. Gráfica de la interacción Dieta x Tiempo de degradación en la fibra detergente neutro (FDN).

5.2. Ganancia de peso

5.2.1. Composición bromatológica de la Saccharina

De acuerdo a los estudios bromatológicos de laboratorio realizados a la Saccharina, se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 5. Composición bromatológica de la Saccharina.

	Promedio
Materia Seca%	67.70
Proteína cruda %	22.25
Nitrógeno no proteico %	0.09
Proteína verdadera %	11.35

Cenizas %	3.62
Materia orgánica %	97.7
Fibra detergente neutra %	36.75
Fibra detergente ácida %	24.04
Hemicelulosa %	20.61

5.2.2. Consumo de materia verde.

De acuerdo a los resultados del análisis de variación para los efectos fijos del modelo mixto planteado, se encontró que no existe significancia entre los tratamientos ($p=0.1287$), sin embargo, se encontró que existe significancia por el efecto principal en el muestreo ($p<0.0001$) y por la interacción muestreo por tratamiento ($p=0.0001$), por lo que se concluye que los tratamientos tienen un comportamiento diferente en cada uno de los muestreos.

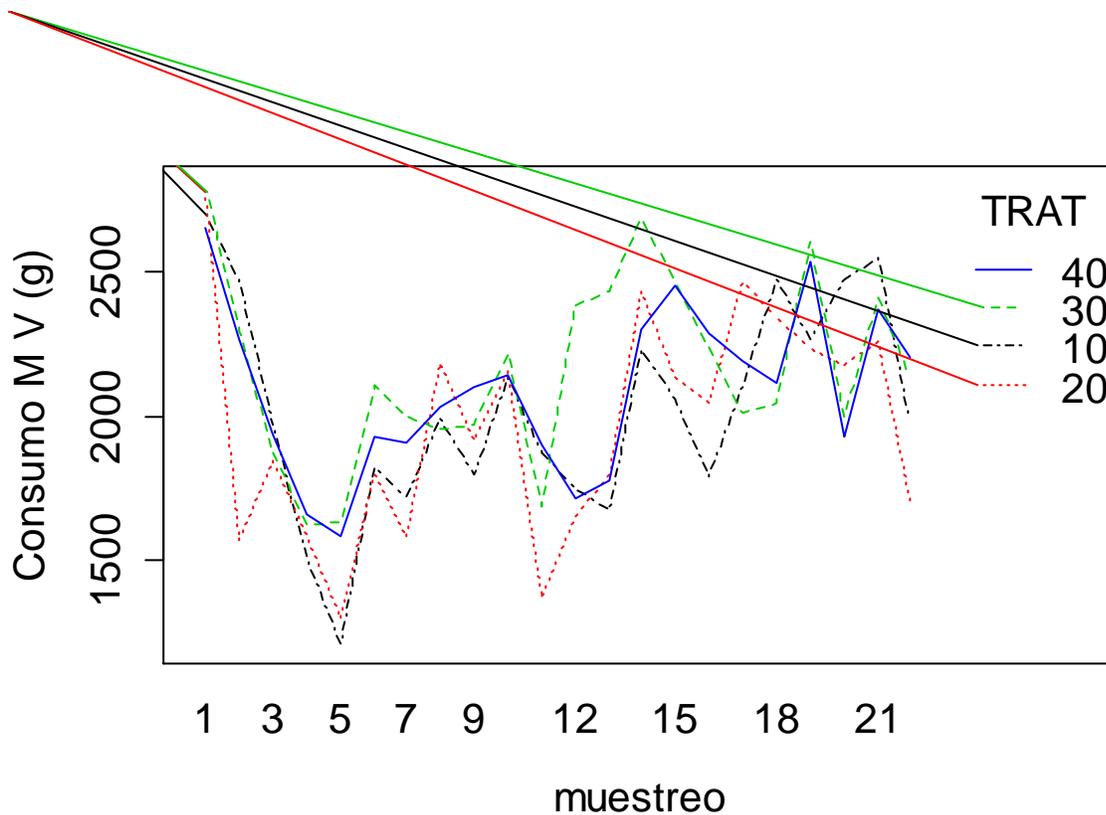


Figura 4. Comportamiento del consumo de materia verde (MV) por cada tratamiento.

5.2.3. Consumo de materia seca

En la interacción entre el tratamiento y el día respecto al consumo de MS se observó que hubo diferente comportamiento en cada uno de los grupos de animales que recibieron las distintas dietas. Así por ejemplo en el día 75 los corderos que recibieron 30% de maíz tuvieron el mayor consumo y en otros días algunos de los otros grupos mostraban alto consumo.

Cuando se analizó la variable consumo transformada a consumo por peso metabólico se pudo notar que los ovinos alimentados con 40% de maíz tuvieron el mayor consumo durante todo el experimento.

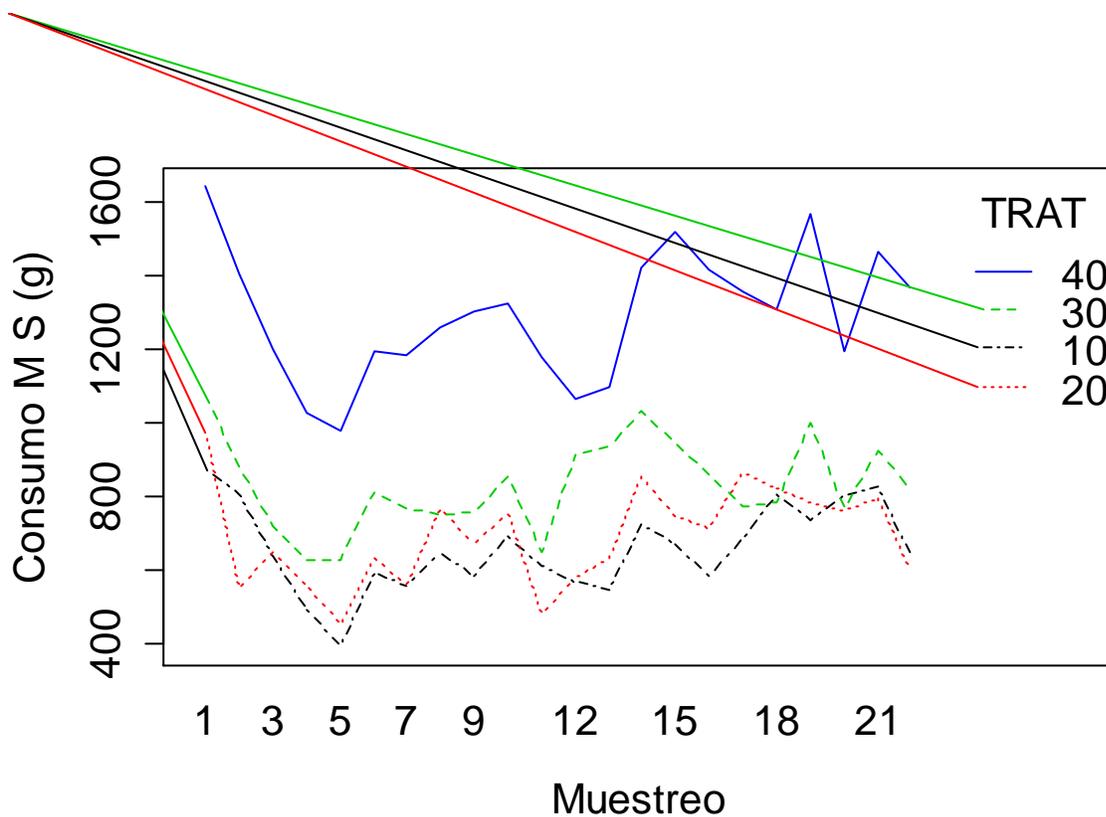


Figura 5. Consumo de materia seca (MS) en base al peso metabólico, en ovinos Pelibuey estabulados, alimentados con cuatro dietas a base de caña de azúcar fermentada con distintos porcentajes de inclusión de maíz (10, 20, 30 y 40%) por día de muestreo.

5.2.4. Ganancia de peso y muestreos

De acuerdo a los resultados del análisis de variación para los efectos fijos del modelo mixto planteado, se encontró que no existe significancia entre los tratamientos ($p=0.1865$), sin embargo, se encontró que existe significancia por el efecto principal en el muestreo ($p<0.0001$) y por la interacción muestreo por tratamiento ($p=0.0330$), por lo que se concluye que los tratamientos tienen un comportamiento diferente en cada uno de los muestreos.

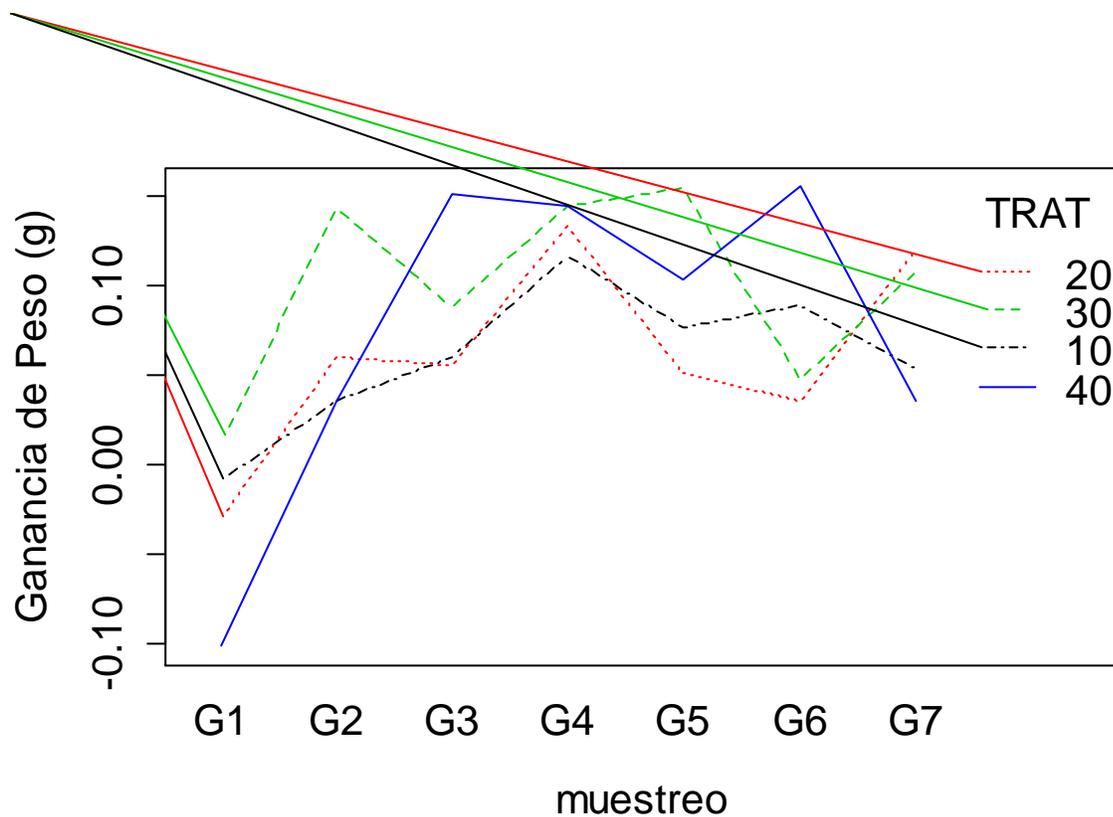


Figura 6. Gráfica de la interacción tratamiento por muestreo para la variable ganancia de peso.

Como se puede observar en la Figura 6 la diferencia entre tratamientos por muestreos no es constante, por lo que se dice que hay interacción entre tratamientos por muestreos.

5.2.5. Peso vivo y ganancia diaria de peso.

Tabla 6. Peso vivo y ganancia de peso de ovinos Pelibuey estabulados, alimentados con diferentes porcentajes de maíz en una dieta integral a base de caña de azúcar fermentada.

	Tratamiento			
	10	20	30	40
Peso vivo inicial (Kg)	18.5	17.8	19.33	16.83
Peso vivo Final (Kg)	24.5	24.8	27.5	26.16
Cambio de peso (Kg)	6.375±1.649 ^a	6.417±1.3469 ^a	10.333±1.3469 ^a	8.417±1.3469 ^a

GDP (Kg)	0.061±0.0162 ^a	0.061±0.0132 ^a	0.099±0.0132 ^a	0.075±0.0132 ^a
Consumo MV (g)	1969.72±64.56 ^{ab}	1902.10±52.72 ^b	2088.15±52.72 ^a	2017.47±52.72 ^{ab}
Consumo MS (g)	639.37±26.04 ^c	667.07±21.26 ^c	802.27±21.26 ^b	1250.02±21.26 ^a
Consumo por peso metabólico (g)	74.91±21.4 ^c	73.2±18.4 ^c	81.1±17.9 ^b	143±31.6 ^a

En el análisis del peso vivo respecto al tiempo se observó que los animales con mayor peso fueron los corderos que recibieron la dieta con el 30% de inclusión de maíz.

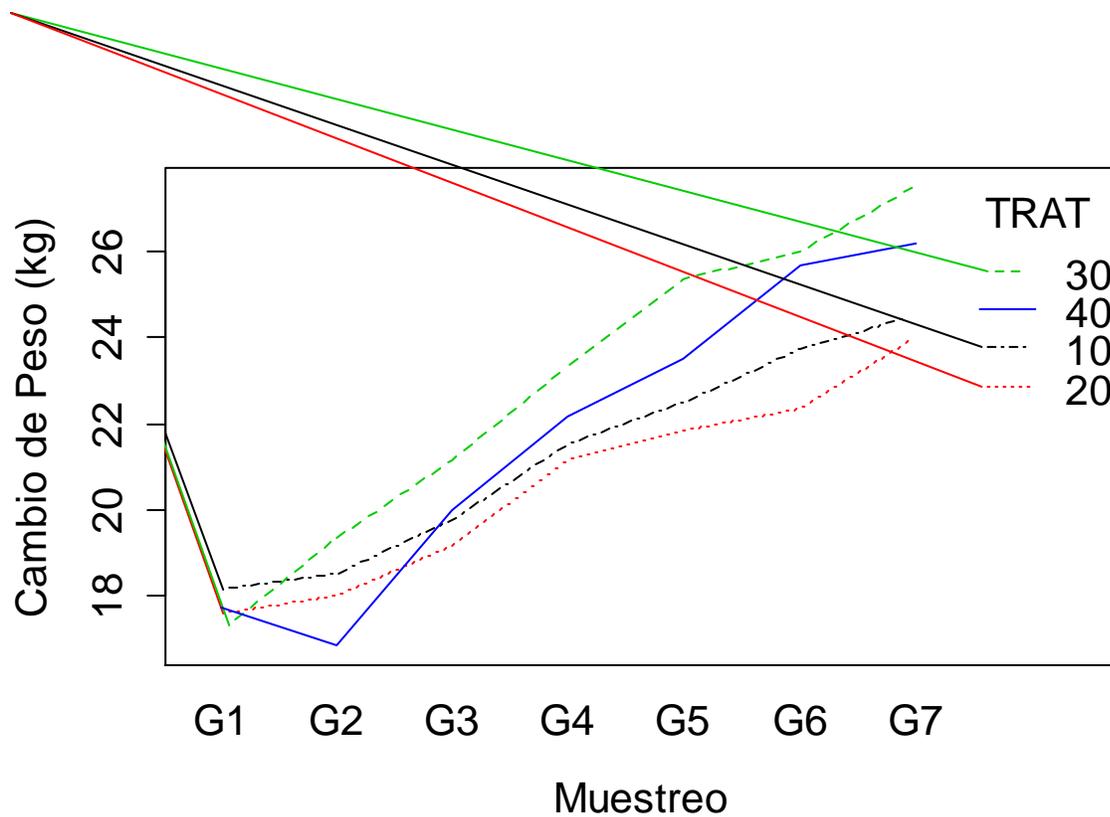


Figura 7. Cambio de peso vivo en base a las cuatro diferentes dietas ofrecida a los corderos en relación al tiempo

VI. DISCUSIÓN

6.1. Composición de la dieta

Por su excelente adaptabilidad de la caña de azúcar a climas tropicales y subtropicales, ha sido considerada una alternativa para mejorar la alimentación de rumiantes en el trópico, ya que cuenta con un alto potencial en producción de biomasa por unidad de superficie (Alexander, 1988). Sin embargo, debido a los resultados encontrados en la presente tesis, los cuales fueron coincidentes con los de distintos autores (Martin, 2004; Aranda *et al.*, 2000; Elías, 1983; Ramos *et al.*, 2006), la caña de azúcar presenta bajos porcentajes de proteína y problemas al momento de la digestión por su alto contenido de fibra, PC, minerales y baja tasa de pasaje.

Es importante mencionar que, a pesar de estos problemas, la caña de azúcar cuenta con un incremento de sacarosa, fructosa y glucosa conforme aumenta la edad de la planta, lo cual puede servir como fuente de energía para los microorganismos que están presentes durante el proceso de FES y de esta manera mejorar la digestibilidad y composición de la caña (Elías, 1983). En este trabajo, la inclusión de maíz durante el proceso de FES aumentó de forma clara la MS y la FDN del 0 al 10 % de inclusión (Tabla 4), con valores similares a concentraciones más altas de maíz en las dietas. Por lo que es importante una evaluación más detallada de los diferentes elementos que componen la degradación para evaluar las diferencias entre las dietas. En la literatura se reportan concentraciones de PC en la caña de azúcar de 3% (Torres, 2006) y del maíz del 8.14% (Bressan *et al.*, 1989). En este trabajo, se obtuvieron concentraciones de PC de la Saccharina en el tratamiento de 0% de 22.25%, por lo que inicialmente se

demuestra que el proceso de FES mejoró significativamente el contenido de PC, sin embargo, cuando se realizó la inclusión de maíz en las dietas el contenido de PC disminuyó, obteniéndose valores de hasta 14.00 % para el nivel de 40 % de maíz. Lo anterior puede deberse a diferentes causas, como son, un crecimiento acelerado de biomasa que diluya la concentración de proteína, una concentración alta de PC que no es aprovechada eficientemente por las bacterias, o a diferentes factores que determinan los procesos durante la fermentación (Pandey *et al.*, 2001; Van Soest, 1982). La ineficiencia en la fermentación es ocasionada, algunas veces, por diferentes tipos de substrato, como es el caso de microorganismos que están adaptados para dietas a base de forrajes o de granos. En estos casos, esta inadecuada incompatibilidad entre las poblaciones de microorganismos, generan perfiles de fermentación ineficientes (Salcedo, 2004). El cual pudiera ser la causa del comportamiento de la PC, MS y FDN, al aumentar el contenido de maíz por arriba del 10 %. Grandes cantidades de grano pueden modificar el pH, lo cual originaría un cambio en el ambiente microbiano y con disminución del crecimiento (Salcedo, 2004). Por otro lado, la EM no presentó mucha diferencia en todos los tratamientos, lo que nos indica que, cualquier cambio que observemos en el comportamiento productivo del animal, es consecuencia de los factores cinéticos y no de la cantidad de energía presente en el alimento.

6.2. Degradación *in situ* de la dieta

En el caso de la degradación *in situ* pudimos observar dos eventos o fases de cambio; en el primero, los valores cambiaron notablemente del tratamiento 0 al tratamiento 10, teniendo una diferencia que fue del 8 al 22 % de degradación. El último valor se presentó a las dos horas de incubación. En el segundo evento, la degradación tuvo un

comportamiento más constante, dicho evento se presenta en todos los tratamientos. Este comportamiento fue similar en las dos variables (DIMS y DIFDN). La diferencia entre las degradaciones *in situ* reportadas entre los tratamientos del 0 al 10 % de inclusión, y los encontrados en los tratamientos 10, 20, 30 y 40, puede deberse a un cambio de la cantidad de material disponible en el tratamiento con solo caña y a los tratamientos con diferentes niveles de azúcares, es decir la fracción soluble o potencialmente degradable, así como a la aportación de energía, misma que fue aprovechada por los microorganismos (Ramos *et al.*, 2006). El comportamiento de la degradación *in situ*, está relacionado a lo observado en la composición de la MS y FDN de las dietas. Un crecimiento microbiano alto entre el 0 y 10 % de inclusión, generará un aumento alto de la DIMS y DIFDN, y por consiguiente también de la DEMS y de la DEFDN, que es lo que se observó en este trabajo. En el caso de la degradación de FDN, a cada tiempo de incubación, observamos un comportamiento similar al que se presentó con la variable de MS, además se observa que conforme aumenta el tiempo de incubación, la diferencia de degradación entre las dietas con 0 y 10 % de maíz disminuyeron, lo cual puede ser atribuido a que el maíz es más fácil de degradar que la fibra de a caña, quedando casi al final de este proceso el contenido con las partículas más difícil de degradar, en este caso las de la caña de azúcar.

Analizando la degradación en general, se observa que estos dos fases de cambio, entre el tratamiento 0 y los tratamientos 10, 20, 30 y 40, se debe a la inclusión del maíz, el cual beneficio en el aumento, en cantidad, de producto soluble o degradable, así como la aportación de energía, misma que fue aprovechada por los miccorganismos (Ramos *et al.*, 2006) hasta el nivel del 10%.

6.3. Degradación efectiva de la dieta

La DEMS y la DEFND presentan un aumento entre 0 y 10 % de inclusión, pero se mantienen sin cambios significativos en niveles mayores de inclusión (Tabla 5). Se puede observar en esta tabla que este aumento es como consecuencia de la mayor cantidad de FS en la dieta con 10 % de maíz. Sin embargo, los comportamientos estables entre 10 y 40 % son un reflejo de la disminución de las FS tanto de la MS como de la FDN, según se desprende de los datos de DE obtenidos en este trabajo. Esta disminución parece ser contradictoria, ya que la inclusión de maíz al 10 % genera un aumento que no se ve reflejada en mayores aumentos de inclusión. La explicación de este comportamiento podría estar en el tipo de competencia microbiana que se da durante la fermentación al aumentar un grupo específico de sustrato (Russell *et al.*, 1981; Russell y Baldwin, 1979), que pudiera alimentarse de los sustratos que se encuentran en el maíz y no en la caña de azúcar, o de una detención del crecimiento como consecuencia de un ambiente demasiado ácido, como se mencionó anteriormente. Aunque los resultados de este trabajo muestran un aumento de la kdMS conforme aumentan los niveles de maíz o sustratos favorables a microorganismos con mejores capacidades de degradación (Russell y Baldwin, 1979), estos no se ven reflejados en la kdFDN, la cual tiene un comportamiento irregular. Lo anterior, se puede interpretar como un efecto del balance entre crecimiento microbiano y cinética de las fracciones de las dietas, más que a un solo factor. Tomando en cuenta estos resultados, en el caso de la MS podemos decir que la adición de maíz a la Saccharina benefició la DEMS, ya que esta aumentó de igual forma que el aumento de maíz en la

dieta, mostrando valores que van de 75.65 hasta 88.46 %, con el nivel 10 % y 40 % de inclusión, respectivamente.

6.4. Consumo

Para medir el consumo se hizo una sustracción del alimento ofrecido menos lo rechazado, de esta manera se pudo observar que el consumo de alimento en verde fue mayor en los ovinos consumiendo la caña de azúcar adicionada con 30% de maíz (Anexo A). Sin embargo, cuando se transformó la variable a consumo de MS se pudo notar que la dieta con mayor porcentaje de maíz producía los mayores consumos de MS. Debido a que la caña de azúcar contiene una gran proporción de humedad y la del maíz es baja, 12.24%, se incrementan los porcentajes de MS cuando se aumentan los niveles de inclusión de maíz, que van del 31.37 al 46.33%.

Cuando se transformó la variable de consumo de MS a consumo por peso metabólico al .75, se observó una tendencia que fue de 74.91 ± 21.4 a 143 ± 31.6 g, donde estadísticamente el mejor tratamiento fue la dieta con 40% de humedad, siendo los de menores valores los correspondiente a los tratamientos de 0 y 10%, sin diferencias estadísticas entre ellas. Aparentemente, los corderos alimentados con mayores porcentajes de maíz, cubrían de mejor manera sus necesidades nutricionales, y obtendrían más beneficios para su crecimiento, mientras que los corderos con menor porcentaje de maíz utilizarían los nutrientes principalmente para su mantenimiento. Sin embargo, aunque las dietas con mayores niveles de maíz presentan DE más altas, no se encontraron diferencias significativas entre las ganancias de peso de los distintos tratamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo (Tabla 4), se puede observar que el tratamiento de FES tiene valores adecuados de consumo para mantenimiento, solo para la dieta con nivel de 40 %, de acuerdo a lo reportado por otros investigadores, que recomiendan un rango entre 0.9- 1.2 kg de MS (NRC, 1985), por lo que las dietas con menos del 40 % de inclusión de maíz no están en condiciones de cubrir los requerimientos de MS. La dieta del 30 % se encuentra muy cerca de los niveles de consumo de MS recomendados, sin embargo, tiene junto con los niveles de 20 y 40 % las menores concentraciones de PC, que van de 14.00 a 15.75 %, pero no están lejos de los niveles recomendado en el RNC (1985) que es de 14.5 %. Los cambios en el consumo voluntario observado, se originan por diversos factores (Mendoza y Ricalde, 1996; Hodgson, 1985), entre ellos, los cambios físicos (Maynard et al., 1989), como los que se estudiaron en este trabajo, sin embargo, también, influyen factores como el ambiente (Mendoza y Ricalde, 1994).

6.5. Ganancia de peso

Los resultados de este trabajo muestran que no existieron diferencias significativas entre las variables que se utilizaron para describir el aumento de peso de los ovinos, como fueron, cambio de peso (CP) y ganancia diaria de peso (GDP). La dieta con 30 % de maíz tuvo los valores más altos en estas dos variables, pero también el peso vivo inicial (PVI) mayor, por lo que no se descarta la posibilidad de que estos valores tuvieran un efecto sobre el aumento de peso. De acuerdo a lo obtenido en el presente trabajo, se puede notar que el tratamiento de FES permitió satisfacer los requerimientos para mantenimiento más importantes de los ovinos de pelo corto, en esta etapa de desarrollo, según NRC (1985), ya que a consecuencia de la FES y la

adición de maíz, la composición química de la caña, ofrecida como Saccharina, cubre los requerimientos óptimos de los corderos para su mantenimiento, que son: 0.9- 1.2 kg de MS y 14.5 % de PC. Sin embargo, las dietas están muy lejos de cubrir el requerimiento de EM que es de 4.5 Mcal/Kg MS de EM (NRC, 1985), cuando el valor máximo encontrado en este trabajo fue de 2.38 Mcal/Kg MS para la dieta con 10 % de inclusión. Las dietas, tampoco, parecen cubrir los requerimientos de energía entre 1 655 y 2 106 Mcal EM, para corderos de 15 kg de peso corporal en crecimiento en el trópico.

Como se ha podido apreciar en esta investigación, los niveles más altos de PC se encuentran en el nivel de 10 %, pero con el menor consumo de todas las dietas, a la vez que, la degradación y la EM se mantienen constante, aunque el aporte de EM es pobre con respecto a los requerimientos previamente mencionados. Las ganancias promedio en este trabajo fueron modestas, ya que se han reportado entre 0.045 ± 0.016 Kg y 0.082 ± 0.010 Kg de ganancias diarias para animales consumiendo dietas a base de forraje y con bloques nutricionales (González, 2007), aunque las diferencias pueden variar dependiendo de la raza (Díaz, 1999), actividad microbiana (Elías, 1983), suplementación (Leonel y Martínez, 2006), sexo (González et al., 2002), etc., entre otros factores (Colín, 2006).

VII. CONCLUSIÓN

La adición de maíz, a las dietas de Saccharina, mejora la degradación de la materia seca y proteína cruda de las dietas hasta el nivel del 10 % de inclusión. Sin embargo, mayores niveles de inclusión no tienen un efecto importante en el aumento de la degradación, lo cual es similar a lo encontrado en la cantidad de materia seca y fibra detergente neutro encontrada en las diferentes dietas. El aumento de la degradación es consecuencia del aumento de la fracción soluble, tanto de la materia seca como de la fibra detergente neutro, y no de la tasa de degradación. También se concluye que, el aumento de nivel de maíz en la dieta mejora el consumo voluntario, lo cual no se ve reflejado estadísticamente en mejoras de la ganancia de peso. Esto puede ser como consecuencia de dificultades en alcanzar los requerimientos de materia seca y proteína cruda en la dieta de los ovinos durante el experimento.

VIII. RECOMENDACIONES

Los granos como el maíz, por lo general, tienen precios mayores que los precios de forrajes, como la caña de azúcar, por lo que es recomendable hacer dietas con los niveles más bajos en granos para abaratar costos. Debido a que las dietas con 10 % de maíz demostraron dar los mejores resultados en degradación y a que no se presentaron aumentos de peso en todos los tratamientos, es lógico utilizar este nivel para elaborar dietas de mejor calidad en ovinos, sin embargo, se recomienda diseñar nuevos experimentos con mayor número de animales para disminuir la variación y determinar si existe un efecto a ese nivel y como balancear las raciones para que los cambios benéficos encontrados en la degradación se puedan reflejar en mejores ganancias de peso.

IX. LITERATURA CITADA

- Alexander, A. G. 1988. Sugarcane as a source of biomass. En: Sugarcane as feed. FAO, Animal Production and Health Paper. Rome.
- Allison, C. D. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: A Review. J. Range Manage. 38:305.
- Aranda, E., Ramos J., y Mendoza, G. 2000 Caña de azúcar en la alimentación de bovinos. Gobierno del Estado de Tabasco. Instituto para el desarrollo de sistemas de producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Manual editado en el Municipio de Villahermosa, Tabasco, México. pp. 13.

- Aranda, I. E. M. 2000. Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de México. 90 p.
- Aranda, I. E. M., y Rojo, R. R. 1994. Determinación del consumo voluntario: Digestibilidad de diferentes proporciones de hoja de plátano y pasto estrella en borregos Pelibuey. Avances de Investigación. Campus Tabasco. Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas, Tabasco. pp. 25-26.
- ARFC. 1992. Technical Committee on Response to nutrients, Reports No. 9. Nutritive requirements of ruminant animals: protein. Nutrition Abstracts & Reviews. Series B. 62:787-835.
- Bavera Ruiz, A. 2002. La industria cárnica ovina. Manual para la educación agropecuaria. Editorial Océano. México, D.F. p. 102-123.
- Beede, D. K., and R. J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. J. Anim. Sci. 62:543–554.
- Blardony, R. K. 2010. Utilización del Vitafert en corderos de pelo durante la lactancia y su efecto en el postdestete. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. 81 p.
- Blardony, R. K., González, G. R., Ramos J. J. A., Díaz, R. P., y Elías, I. A. 2013. Ganancia de peso de corderos alimentados con una dieta integral de Saccharina y un probiótico. Ciencia en la Frontera. 11:29-35.
- Bores, Q. R. F., Velázquez M. P. A., y Heredia A. M. 2003. Evaluación de razas terminales en esquemas de cruce comercial con ovejas de pelo F1. Tecnología Pecuaria de México. 40(1):71-79.

- Boucourt, R., Carrasco, E., & López, A. 2006. Microbiota aerobia en caña fermentada con excreta vacuna... Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 40(3), 279.
- Bressani, R.; Breuner, M.; Ortiz, M. 1989. Contenido de fibra ácido- y neutro-detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. Archivo latinoamericano de Nutricion. 39(3):382-91
- Brown, D., Salim, M., Chavalimu E., y Fitzhugh, H. 1988. Intake, Selection, apparent digestibility and chemical composition of *Pennisetum purpureum* and *Cajanus cajan* foliage as utilized by lactating goats. Small Ruminant Research. 1:59-65.
- Cabrera, E. J. I., Mendoza M. G. D., Aranda I. E., Garcia-Bojalil C., Barcena G. R., y Ramos J. J. 2000. *Saccharomyces cerevisiae* and nitrogen supplementation in growing steers grazing tropical pastures. Animal Feed Science and Technology. 83:49-55.
- Castellanos Ruelas, A. F. 1989. Tecnologías para la producción de ovejas tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México City (México). FAO, Santiago (Chile). Oficina Regional para América Latina y el Caribe. pp. 1-16.
- Castellanos, R.A.F., Solís, R. G., Velázquez, M. A., Rodríguez, G. A. 1991. Determination of nutritional requirements of growing hair sheep. Small Ruminant Research. **Vol.4.** 1991, pp115–125.
- Church D. C. y Pond W. G. 1986. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. México. LIMUSA. 635 p.
- CIAT. 2004. Gramíneas y leguminosas tropicales para propósitos múltiples. en: <http://webapp.ciat.cgiar.org/forrajes/forrajeses/historia.htm>

- CNCPS, 1993. Cornell Net Carbohydrate and Protein System. Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals. Modeling approaches. Cornell University. pp. 99-113.
- Cruz, L. C. 1999. Producción de ovinos en pastoreo en praderas de clima tropical. En: AMENA. Curso Internacional sobre Alimentación Ovina. Memorias. Cuernavaca, Morelos. México.
- CSIRO. 1990. Feeding standards for Australian livestock. CSIRO Publications, Australia. 266 p.
- Cuellar O. J. A. (2004) El ambiente y su efecto sobre la cantidad de parásitos en las praderas y agostaderos. 3er Curso Internacional: Epidemiología y control integral de nematodos gastrointestinales de importancia económica en pequeños rumiantes. Fundación Produce Campeche. A. C. Campeche, México. 7-10 de septiembre. pp. 10-14.
- De La Cruz, C. L., Torres, H. G., Núñez, D. R., Becerril, P. C. M. 2005. Evaluación de las características productivas de corderos Hampshire, Dorset y Suffolk en pruebas de comportamiento, en Hidalgo, México. *Agrociencia* 40:59-69.
- Duarte, V. F., Sandoval, C.C., y Sarmiento, F. L. 2009. Empleo del modelo SRNS para predecir la ganancia de peso en ovinos machos Pelibuey en crecimiento. *Archivos de Zootecnia*. 58(224):671-681.
- Egan, A. 1980. Host animal rumen relationships. *Proc. Nutr. Soc.* 39:79-87.
- Elías, A. 1983. Digestión de pastos y forrajes tropicales. En: *Los pastos en Cuba*, Tomo 2, Utilización, Capítulo IV. Ed. EDICA. La Habana, Cuba.
- Elías, A. L. O., Lezcano, P., Cordero, L. y Quintana, L. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar

mediante fermentación en estado sólido (Saccharina). Revista Cubana de Ciencias Agrícolas, 24(1): 147-155 pp.

Eys van, J. E., Pulugan, H., Rangkuti, M. y Johnson, W. L. 1987. Cassava meal as supplement to Napier grass diets for growing sheep and goats. Animal Feed Science and Technology, 18: 197-207.

FAO. 2006. Vol. 1/1. <http://www.fao.org/statistics/anuarioestadístico> de la FAO 2204 vol_1-1.htm

Forbes, G.A. 1986. Characterization of grain mold resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Ph.D. thesis, Texas A & M University, College Station, TX, USA. 75 pp

France, J., y Thornley, J.M. 1984. Mathematical models in agriculture: A quantitative approach to problems in agriculture and related sciences. London: Butterworths. 335 pp.

Gomez, V. A. 2003. Degradación de los componentes celulares de gramíneas forrajeras con la adición de enzimas fibrolíticas y la respuesta productiva de bovinos en pastoreo. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de Mexico.

González, G. R. 1995. Contribución al estudio de los factores que limitan el consumo de caña integral por los bovinos. Tesis de Doctorado. ICA. Habana, Cuba.

González, G. R. G., Torres, H. y Castillo M. A. 2002. Crecimiento de corderos Blackbelly entre el nacimiento y el peso final en el trópico húmedo de México. Revista científica de la UNAM. 33(4):443-453.

- González, G. R., Reyes, F., Ruíz, J. M., Gutiérrez, S. y Calzada, M. 2007. Utilización de pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) en ovinos de pelo suplementados con pasta de coco y bloques multinutricionales. Universidad Autónoma Chapingo.
- González, G. R., Torres, H. G. y Arece, G. J. 2011. Ganancia de peso de ovinos alimentados con pasto Taiwan (*Pennisetum purpureum*) suplementados con diversas fuentes de proteína. Avances de investigación agropecuaria. 15(3):3-20.
- Halachmi, I., Edan, Y., Moallem, U. y Maltz, E. 2004. Predicting feed intake of the individual dairy cow. Journal of Dairy Science. 87(7):2254-2267.
- Hernández, A. y Enríquez, J. F. 2004. Producción y utilización de forrajes para la ovinocultura en el Trópico. En: Hernández-Sánchez (Comp). Producción de Ovinos en Zonas Tropicales. Villahermosa, Tabasco, México. Segunda ed. Colegio de Postgraduados, Fundación Produce Tabasco, A. C., ISPROTAB. pp. 51-60.
- Hinojosa, C. J. A., Oliva, H. J., Torres, H. G., Segura, C. J. C., Aranda, I. E. M. y González, C. J. M. 2012. Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. Universidad y Ciencia 28(2):163-171.
- Hoch, T., Pradel, P. y Agabriel, J. 2004. Modélisation de la croissance de bovins: évolution des modèles et applications. INRA Productions Animales. 17:303-314.
- Hodgson, J. Clark, D.A. Mitchell, R.J.1994. Foraging Behavior in Grazing Animals and Its Impact on Plant Communities. In Forage Quality, Evaluation, and Utilization 1994. p. 796–827.
- INRA. 1981. Alimentación de los rumiantes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 696 p.

- Jarrige, J. 1989. Ruminant nutrition. Recommended allowances & feed tables. John Wiley & Sons, Inc. London, England. 389 p.
- Julián, R. M. C. y Ramos, S. L. B. 2007. Fermentación en Estado Sólido (I). Producción de Alimento Animal. Tecnología Química. 27(3):17-22.
- Ku, V. J. C. 1999. El incremento calórico de alimentación en los rumiantes. Veterinaria México. 26(3):263-269.
- Lachmann, M. y Araujo, F. O. 1999. La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de producción e industria animal, Universidad de Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Zootecnia. Maracaibo, Venezuela. 21 p.
- Macedo, R. y Arredondo V. 2008. Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo intensivo. Archivos de Zootecnia. 57(218):219-228.
- Macey R, Oster G, y Zahnley T. (2010). Berkeley Madonna user's guide version 8.3.18. Department of Molecular and Cellular Biology: University of California.
- Martín, M. P. C. 2004. La alimentación del ganado con caña de azúcar y sus subproductos. Ed. EDICA. La Habana, Cuba. 13 p.
- Martínez, U. E. 2010. Efecto de niveles de Vitafert y carbonato de calcio en la obtención del Sacchapulido. Tesis de Licenciatura. Universidad Popular de la Chontalpa.
- Maynard, L. A., J. K. Loosli, H. F. Hintz, R. G. Wagner. 1981. Nutrición Animal. 4ª ed. Español. Mc.GRAW-HILL. México.

- Mejia, H. J. 2002. Consume Voluntario de Forraje por Rumiantes en Pastoreo. Acta Universitaria. 12(3):56-63. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41612204>>
- Mendoza, M. G. D. y Ricalde V. R. 1996. Suplementación de bovinos en crecimiento en pastoreo. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco, Coordinación de Extensión Universitaria, México, D.F. 40 pp.
- Mendoza, M. G. D., Plata, P. F.X., Espinosa, C.R., Lara, B. A. 2006. Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. Universidad y Ciencia. Tópico Húmedo. 24(1):75-87, 2008. 75-87pp
- Mertens, D. R. 1992. Análise da fibra e su utilização na avaliação e formulação de rações. En: Anais do Simpósio Internacional de Ruminantes. XXIX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 29:188-219.
- Metchnikoff, E. 1908. The prolongation of life: optimistic studies, 1ª ed. Nueva York. Putnam Sons. 269 p.
- Metges, C. C., and Barth, C.A. 2000. Metabolic consequences of a high dietary protein intake in adulthood: Assessment of the available evidence. J. Nutr. 130: 886-889.
- Minson, J. D. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press Inc. San Diego, California. 483 p.
- Mitchell, D. A., Berovic, M. y Krieger, N. 2002. Overview of solid state bioprocessing. Biotechnology Annual Review 8. pp. 183-225.
- Mora-Morelos, H., Hinojosa-Cuéllar, J. A. y Oliva-Hernández, J. 2005. Ganancia de peso de los corderos Pelibuey en pastoreo y con complemento alimenticio. Tecnociencia Universitaria, 10: 21-30.

- Mosquera, L. M. R., McAdam, J. y Rigueiro-Rodriguez, A. (Eds). 2005. Silvopastoralism and sustainable Land Managenent. CABI. 433 p.
- Noguera, N. N. (2007). Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 20:174-82.
- NRC. 1985. Predicting feed Intake of food producing animals. Subcommittee on Feed Intake Committee on Animal Nutrition Board on Agriculture. National Research Council. National Academic Press. Washington, D. C. 85 p.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants. Sheep, goats, cervids a new world camelids. The National Academy Press. Washington. 363 p.
- Oliva, H. J. y Vidal, B. A. 2001. Utilización del zeranol en borregos Pelibuey en pastoreo y con concentrado energético. Universidad y Ciencia. 17(34):57-64.
- Orpin, C. 1981. Isolation of Cellulolytic Phycomycete Fungi from the Caecum of the Horse. J Gen Microbiol 123("):287-296.
- Orskov, E. R. y McDonald, I. 1979. The estimate of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. The Journal of Agriculture Science. 92(2):499-503.
- Ortega, N. G. 2006. Evaluación del modelo de NRC 1996 para ganado en pastoreo suplementado con caña de azúcar enriquecida. Tesis de Maestría. Recursos genéticos y productividad ganadera. Colegio de Posgraduados, Montecillo. Estado de México. 58 pp.
- Ortega, N. G. C. 2011. Predicción de cambios de peso de bovinos pastoreando en trópico: desarrollo y aplicación de un modelo de simulación. Tesis de Doctorado. Postgrado

- de Recursos Genéticos y Productividad Ganadera. Colegio de Postgraduados. Montecillos Texcoco, Estado de México. 130 p.
- Otero, M. A., Saura, G., Martínez, J. A., Garrido, N., & Pérez, I. 2008. Producción de levadura forrajera a partir de vinazas de destilería. Una solución ambiental. *Inter Sugar J*, 110(1319), 693-696.
- Owens, F. N., and A. L. Goetsch. 1986. Ruminant fermentation. *In*: Church, D. C. (ed). *The Ruminant Animal Digestive Physiology and Metabolism*. Prentice Hall, New Jersey. pp: 145-171.
- Pandey, A. Soccol C. R., Rodríguez, L. J. A. y Nigam, P. 2001. *Solid-state fermentation in biotechnology. Fundamentals and applications*. Asiatech Publishers, Inc. New Delhi. 221 p.
- Partida, P. J. A., Martínez, R.L. 2010. Composición corporal de corderos Pelibuey en función de la concentración energética de la dieta y del peso al sacrificio. *Veterinaria de México*. Vol.41, n.3 Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922010000300002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0301-5092.
- Pedraza, O. M. R. 2000. Bagazo rico en proteína (Bagarip). Alimento animal obtenido por fermentación en estado sólido. *Rev. Prod. Anim*, 12, 45-51.
- Quintero, A., N. Rojas, J. Aranguren, G. Soto y D. Durán. 1997. Efecto de la suplementación y la época de nacimiento sobre el crecimiento predestete de becerras mestizas. *Revista Científica Fac. Cien. Vet. LUZ*, 7:75-82.
- Ramos, J. A., Elías, A. y Herrera, F. 2006. Procesos para la producción de un alimento energético-proteico para animales. Efecto de cuatro fuentes energéticas en la

fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40 (1):51-58.

Robinson S. 2005. Distributed simulation and practice. *Simulation*. 81(1): 5-13.

Rodríguez, B.Y. 2005. "Obtención de un alimento energético proteico a través de la fes de la caña de azúcar y el tubérculo de yuca". Tesis de Maestría en Ciencias Veterinarias. La Habana, Cuba; Universidad Agraria de La Habana/Instituto de Ciencia Animal.

Russell, J. B. y Baldwin R. (1979). Comparison of substrate affinities among several rumen bacteria: a possible determinant of rumen bacterial competition. *Appl Environ Microbiol*. 37(3):531-6.

Russell, J. B. y Cotta, M. A. (1981). Dombrowski DB. Rumen bacterial competition in continuous culture - *Streptococcus bovis* versus *Megasphaera elsdenii*. *Appl Environ Microbiol*. 41(6):1394-9.

Salcedo, D. G. 2004. El pasto y su repercusión en la producción láctea. La transformación industrial de la producción agropecuaria. Ministerio de Educación, Subdirección General de Información y Publicaciones. España. Pp 305

Saldivar, M. I. y Cruz, L. C. 1998. Ganancias de peso de corderos Tabasco con niveles crecientes de suplementación con concentrado comercial. *Boletín informativo CIEEGT – UNAM*. pp. 101-103.

Savón, L., Díaz, C. P., Elías, A., Ortiz, M., & Pérez, M. C. 1990. Utilización digestiva y metabólica del nitrógeno en cerdos en crecimiento alimentados con miel proteica casera. Seminario Científico Internacional XXV Aniversario del Instituto de Ciencia Animal. La Habana, 127-128.

- Tedeschi, L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*. 89:225–247.
- Tedeschi, L. O., Gene, F. D., Sainz, D. R., Barioni, L. G. Raposo, M. S. y Boin, C. 2005. Mathematical models in ruminant nutrition. *Scientia Agricola*. 62(1):76-95.
- Torres Moreira, J. A. 2006. Uso de la caña de azúcar como parte de la ración para engorde de ganado bovino, estabulado y semiestabulado. En: XVI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA); XVI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, San Jose (ATACORI), del 1 al 4 de Agosto, San José Costa Rica. Tomo II. p: 865-869.
- Valiño, E. 2001. Perspectivas de utilización del bagazo biofermentado y extractos de enzimas en la alimentación animal. Taller Internacional “Perspectivas de uso del bagazo de la caña de azúcar en un programa efectivo de diversificación de la industria azucarera. Unión de Investigación-Producción de la celulosa del bagazo. La Habana, Cuba.
- Van Soest, P. J. 1982. *Nutritional Ecology of the ruminants*. O. & B. Books, Inc., Corvallis. Oregon. USA. 374p.
- Van Soest, P. J. 1988. Fecal composition, mathematical of digestion balances and markers. En: Van Soest, P. *Nutritional ecology of the ruminant*. O & B Books, Inc. Corvallis, Oregon. 374 p
- Vázquez, M., González G. R., Torres H. G., Mendoza de Gives, P. y Ruiz, M. 2006. Comparación de dos sistemas de pastoreo en la infestación con nematodos gastrointestinales en ovinos de pelo. *Veterinaria México*. 37(1):15-27.

Villalobos, G. C., Gonzales, V. E., y Ortega, S. J. A. 2000. Técnicas para estimar la degradación de proteína orgánica en el rumen y su importancia en el rumiante en pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 38(2):119-134.

Wardrop, I. D. 1961. Some preliminary observations on the histological development of the fore-stomachs of the lamb I. Histological changes due to age in the period from 46 days of fetal life to 77 days of post-natal life. *The Journal of Agricultural Science*. 57:335-341.

X. ANEXOS

Anexo A. Consumo de alimento en ovinos estabulados que recibieron caña de azúcar fermentada con diferentes niveles de maíz.

	10	20	30	40
Consumo (g)	2005±528.3bc	1969±512.0c	2161.7±441.5a	2089.2±402.5ab
Consumo de Materia seca (g)	671.4±176.6c	690.6±179.6c	830.5±169.6b	1373.9±264.7a
Consumo por peso metabólico (g)	74.91±21.4c	73.2±18.4c	81.1±17.9b	143±31.6a

Anexo B. Resultados de Hemicelulosa y energía de mantenimiento.

Tratamiento	% FDA	% Hemicelulosa	EM (Mcal/Kg MS)
0	26.444	13.439	2.1031
10%	19.785	19.431	2.3872
20%	19.157	16.379	2.0595
30%	15.995	16.045	2.1698
40%	7.665	14.656	1.7088

Anexo C. Análisis proximales pots incubación de fibra detergente ácido y hemicelulosa.

TRATAMIENTO	TIEMPO	%	
		% FDA	HEMICELULOSA
0	0 horas	73.01	17.76
0	2 horas	79.00	13.85
0	4 horas	69.22	23.53
0	6 horas	71.98	18.98
0	12 horas	75.94	15.37
0	24 horas	69.95	27.87
0	36 horas	71.98	17.12
10	0 horas	40.09	24.84
10	2 horas	64.96	11.57
10	4 horas	60.87	10.78
10	6 horas	57.85	19.64
10	12 horas	66.62	19.51
10	24 horas	86.25	8.20
10	36 horas	89.66	1.99
20	0 horas	33.07	17.52
20	2 horas	49.19	13.97
20	4 horas	37.12	21.26
20	6 horas	71.92	-3.43
20	12 horas	73.62	5.50
20	24 horas	76.05	12.85
20	36 horas	64.25	23.03
30	0 horas	24.65	16.67
30	2 horas	31.31	19.56
30	4 horas	36.74	14.60
30	6 horas	38.21	21.45
30	12 horas	61.43	8.18
30	24 horas	74.55	18.07
30	36 horas	98.86	-7.99
40	0 horas	16.80	15.96
40	2 horas	9.32	23.21
40	4 horas	31.78	7.74
40	6 horas	28.24	18.19
40	12 horas	35.30	27.44
40	24 horas	65.46	14.99
40	36 horas	70.95	16.09

Anexo D. Degradación de materia seca (DMS).

TIEMPO	TRATAMIENTO					CE
	0	10	20	30	40	
0	57.175 ^{no}	65.670 ^{ijkl}	56.731 ^o	59.612 ^{no}	47.198 ^p	0.017
2	59.058 ^{no}	72.441 ^{efgh}	66.978 ^{ijkl}	59.839 ^{no}	61.178 ^{mn}	
4	64.024 ^{lm}	73.266 ^{defg}	68.395 ^{ijk}	64.380 ^{klm}	64.113 ^{lm}	
6	69.443 ^{ghij}	76.295 ^{de}	73.777 ^{def}	69.166 ^{hij}	70.467 ^{fghi}	
12	73.209 ^{defgh}	80.491 ^{bc}	76.788 ^{cd}	75.811 ^{de}	75.773 ^{de}	
24	75.433 ^{de}	81.169 ^b	81.097 ^b	81.475 ^b	82.930 ^{ab}	
36	75.567 ^{de}	82.447 ^{ab}	84.071 ^{ab}	83.926 ^{ab}	86.285 ^a	

abcdefghijklmnopq Medias con diferentes superíndice en el mismo bloque difieren P<0.05. (Tukey, 1953).

Anexo E. Degradación de FDN.

TIEMPO	TRATAMIENTO					CE
	0	10	20	30	40	
0	17.383 ^r	45.097 ^{ijklm}	39.407 ^{lmn}	47.911 ^{efghijk}	22.498 ^{qr}	0.0306
2	19.204 ^r	48.048 ^{efghijk}	42.270 ^{ijklmn}	36.229 ^{nop}	43.411 ^{ijklmn}	
4	29.084 ^{pq}	52.818 ^{cdefgh}	48.930 ^{defghij}	42.931 ^{ijklmn}	36.468 ^{no}	
6	40.929 ^{klmn}	54.756 ^{abcde}	50.283 ^{defghi}	42.581 ^{ijklmn}	38.566 ^{mno}	
12	48.006 ^{efghijk}	58.612 ^{abc}	49.162 ^{defghij}	47.447 ^{fghijk}	31.906 ^{op}	
24	48.923 ^{defghij}	56.193 ^{abcd}	53.488 ^{bcdefgh}	46.449 ^{hijkl}	38.477 ^{mno}	
36	53.732 ^{bcdefg}	60.374 ^{ab}	61.517 ^a	54.415 ^{abcde} f	46.517 ^{ghijkl}	

abcdefghijklmnopqr Medias con diferentes superíndice en el mismo bloque difieren P<0.05. (Tukey, 1953).

Anexo F. Degradación de materia orgánica (MO).

TIEMPO	TRATAMIENTO					CE
	0	10	20	30	40	
0	58.160 ^{op}	66.017 ^{ijkl}	56.956 ^p	60.004 ^{op}	47.256 ^q	0.017
2	60.147 ^{op}	72.570 ^{efgh}	67.084 ^{ijkl}	60.413 ^{nop}	61.380 ^{mno}	
4	65.121 ^{klm}	73.437 ^{defg}	68.689 ^{hijk}	64.800 ^{klm}	64.249 ^{lmn}	
6	70.724 ^{fghi}	76.558 ^d	74.005 ^{def}	69.588 ^{ghij}	70.679 ^{fghi}	
12	74.393 ^{def}	80.795 ^{bc}	77.250 ^{cd}	76.046 ^{de}	76.010 ^{de}	
24	76.661 ^d	81.679 ^b	81.663 ^b	81.953 ^b	83.302 ^{ab}	
36	76.791 ^d	82.507 ^{ab}	84.706 ^{ab}	84.497 ^{ab}	86.381 ^a	

abcdefghijklmnopq Medias con diferentes superíndice en el mismo bloque difieren P<0.05. (Tukey, 1953).