

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NAYARIT**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

*SUBDIRECCION DE POSGRADO E INVESTIGACION*



**EFFECTO DEL IONOFORO (MONENSINA O LASALOCIDA) Y  
MALATO DE SODIO EN EL CONSUMO, DIGESTIBILIDAD Y  
FERMENTACIÓN RUMINAL EN OVINOS PELIBUEY.**

***TESIS***

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**BIOLOGIA DE LA PRODUCCION AGROPECUARIA EN EL AREA DE  
NUTRICION ANIMAL**

**PRESENTA**

**MARISA LAURA JULIANA GONZALEZ MOMITA**

**ASESORES:**

**DR. JORGE R. KAWAS GARZA**

**DR. CARLOS GONZALÉZ MORTEO**

**DR. JORGE AGUIRRE ORTEGA**

**TEPIC, NAYARIT, DICIEMBRE DE 2004**

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme la vida para poder realizar mis ilusiones.

A la memoria de mi padre Miguel González Ayón† quien esta en cada paso que doy por la vida. El que deja una imagen suya en sus hijos muere a medias.

Carlos Goldoni

A mi madre Gpe. Laura Mornita Santana, por ser ejemplo de fortaleza y tenacidad.

A mis Hermanos; Ricardo, Miguel, Pastora, Elizabeth, Román, Gabriel, Alberto y Jorge, por ser el impulso de la superación continua, su cariño no tiene precio, la unidad que hay entre nosotros es el ejemplo que debemos heredar a nuestros hijos.

A mis adoradas hijas, Ningyo Guadalupe y Laura Cecilia, quienes son el motor que mueve mi vida y por las que doy todo lo que soy y tengo, y en las que quiero sembrar la semilla de la superación tanto personal como profesional.

Las amo.

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma de Nayarit**, mi *Alma Mater* a la que le debo mi formación profesional.

Muy especialmente al Dr. Jorge R. Kawas Garza, por su apoyo y sus consejos en la realización del presente trabajo, ya que sin su orientación y sus consejos jamás hubiese podido llegar a este punto.

A las Instituciones que apoyaron en la realización de este trabajo, La Universidad Autónoma de Nuevo León, La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y la Universidad Autónoma de Nayarit.

Al Dr. Carlos A. González Morteo y Dr. Jorge Aguirre Ortega por su paciencia orientación y consejos académicos de mucha utilidad en la culminación de la presente investigación.

Al DR. Roberto Gómez Aguilar por su asesoría, sus consejos y su amistad.

A mis compañeros de Generación; Agapito, Celso, Guillermo, Marcelino, Mauro y Germán, por su amistad.

A mis hermanos y pandilla de aventuras; Margarete, Elva, Carmen, Gabriela y Germán, por brindarme su cariño y compañía en las buenas y en las malas Gracias.

A Karenia, Lucy y Lupita por su amistad.

A ti que de una u otra manera estas conmigo, gracias

A veces podemos pasarnos años sin vivir en absoluto, y de pronto toda nuestra vida se concentra en un solo instante.

# INDICE

	Página
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. HIPÓTESIS.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Ovinos de pelo.....	4
2.1.1. Razas.....	5
2.1.2. Sistemas de producción.....	6
2.2. Nutrición de corderos en confinamiento.....	7
2.2.1. Fermentación y microorganismos del rumen.....	7
2.2.1.2. Digestibilidad y utilización de la energía.....	9
2.2.2. Evaluación nutricional de los alimentos.....	11
2.2.2.1. Sistema proximal.....	11
2.2.2.2. Sistema detergente.....	13
2.2.3. Problemas digestivos.....	13
2.2.3.1. Acidosis ruminal.....	13
2.2.3.2. Enterotoxemia.....	15
2.2.3.3. Cálculo urinario.....	16

2.2.4. Características de las raciones.....	16
2.2.4.1. Raciones altas en granos .....	
2.2.4.2. Forma física del grano.....	
2.2.4.3. Efecto del nivel de grano.....	18
2.2.4.4. Adaptación a altos niveles de grano.....	20
2.3. Aditivos no-nutritivos para prevenir la acidosis.....	20
2.3.1. Ionóforos.....	21
2.3.1.1. Aspectos históricos de los ionóforos.....	21
2.3.1.2. Propiedades bioquímicas y mecanismos de acción	22
2.3.1.3. Monensina.....	24
2.3.1.4. Lasalocida.....	25
2.3.1.5. Salinomicina.....	26
2.3.1.6. Laidlomocina.....	27
2.3.1.7. Recomendaciones del uso de los ionóforos.....	28
2.3.2. Amortiguadores (buffers).....	28
2.3.3. Microbiales de uso directo (probióticos).....	29
2.3.4. Malato.....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Características del sitio y del material experimental.....	
3.1.1. Situación geográfica y climática.....	
3.1.2. Los animales y tratamientos.....	33
3.2. La alimentación y manejo de los corderos.....	33
3.3. El período experimental.....	34
3.4. Análisis de muestras.....	34

3.5. Cálculo de balance de N y de N retenido.....	37
3.6. Medición de tiempos de masticación.....	37
3.7. Muestreo y análisis de líquido ruminal.....	37
3.8. Análisis estadístico.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Consumo y digestibilidad.....	39
4.2. Actividades de masticación.....	44
4.3. Fermentación ruminal.....	45
4.4. Utilización del nitrógeno.....	49
V. CONCLUSIONES.....	52
VI. LITERATURA CITADA.....	54
APENDICES.....	61
1. Materiales.....	62
2. Procedimientos.....	64

## RESUMEN

De los aditivos no-nutritivos que pueden usarse en la nutrición de corderos en corral, destacan los ionóforos, los cuales modifican la fermentación ruminal, mejorando la utilización de la energía de la ración, y en consecuencia, la eficiencia alimenticia. Esta investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los análisis de muestras de alimentos y heces se realizaron en la Universidad Autónoma de Nayarit, mientras que las muestras de orina y ácidos grasos volátiles se analizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El trabajo consistió en tres etapas: (1) Adaptación de los animales; (2) Colección de muestras; y (3) Análisis e interpretación de los resultados. Se emplearon veinte corderos en crecimiento, con peso aproximado de 16 kg, los cuales se asignaron aleatoriamente en un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial  $2 \times 2$  (dos ionóforos y dos niveles de malato de sodio). Los cuatro tratamientos o raciones fueron: (1) ración con 30 partes por millón (ppm) de lasalocida (L) ppm; (2) ración con 30 ppm de lasalocida y 0.3% de malato de sodio (LM); (3) ración con 30 ppm de monensina (M); y (4) ración con 30 ppm de monensina y 0.3% de malato (MM). Los animales se confinaron en jaulas metabólicas individuales, de madera, con piso de rejilla metálica. El alimento y agua se ofrecieron a libre acceso. En la etapa experimental, el alimento se ofreció a los corderos dos veces al día. Durante 7 días, muestras de alimento ofrecido y rechazado, heces, orina y líquido ruminal fueron obtenidas. Después de la etapa de colección de muestras, durante 24 horas, las actividades de consumo y rumia se registraron cada 5 minutos, para determinar el tiempo total de masticación. Muestras de líquido ruminal fueron obtenidas mediante tubo estomacal, 2 horas después de la comida de la mañana, para determinar pH y ácidos grasos volátiles.

Los resultados muestran que la monensina sódica redujo ( $P < 0.05$ ) el consumo de materia seca (MS) de los corderos ( $\text{g/Kg}^{0.75}$ ), mientras que el malato de sodio no lo afectó. Una reducción en la MS digestible de corderos que consumieron las raciones con malato de sodio, se atribuye principalmente a la menor digestibilidad de la FDN, ya que no se observó un efecto del ionóforo o malato de sodio en la digestibilidad de los carbohidratos no estructurales (CNE), los cuales están disponibles para la fermentación ruminal. El tiempo de rumia fue mayor con la ración que contenía únicamente lasalocida, lo que aparentemente se debió al mayor consumo de MS de esta ración, aunque el tiempo dedicado a consumir alimento no fue diferente a los demás tratamientos. El pH ruminal no fue diferente entre tratamientos ( $P < 0.05$ ), ya que se mantuvo en más de 5.5 (considerado el límite para una acidosis ruminal). Debido a que del total del sorgo de la ración, el 50% era grano entero, aumentando la rumia, y consecuentemente, mas secreción de saliva, ayudando a amortiguar el pH ruminal. El balance de N fue mayor en corderos que consumieron las raciones con lasalocida, aparentemente debido a un mayor consumo de proteína cruda. Por otra parte, el Malato de sodio redujo la digestibilidad aparente del N.

## SUMMARY

Ionofores are non-nutritive additives that are commonly used for lamb and beef feedlot nutrition. They modify ruminal fermentation improving ration energy utilization, and therefore, feed efficiency. This study was conducted at the animal nutrition facilities of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Laboratory analysis of feed and feces were determined at Universidad Autonoma of Nayarit. Urine N and rumen volatile fatty acid concentrations were analyzed at the Nutrition Laboratory, College of Veterinary Medicine, at the Universidad Autonoma de Nuevo Leon. The study consisted of three phases: (1) Adaptation of the animals to metabolic cages and rations; (2) Sample collection; and (3) Statistical analysis and data interpretation. Twenty lambs, weighing approximately 16 kg, were assigned to a completely random design with a 2 x 2 factorial arrangement of treatments (two ionóforos and two sodium malate levels). The four treatment groups (rations) were: (1) ration with 30 parts per million (ppm) lasalocid (L); (2) ration with 30 ppm lasalocid and 0.3% sodium malate (LM); (3) ration with 30 ppm monensin (M); and (4) ration with 30 ppm monensin and 0.3% sodium malate (MM). Animals were confined to individual metabolic cages. Feed and water were offered ad libitum. Lambs were fed twice daily. During the 7-day collection phase, offered and rejected feed, feces, urine and rumen fluid samples were collected. After the 7-day sample collection phase, during a 24 hour period, eating and ruminating activities were recorded every 5 minutes to determine total mastication time. Rumen fluid samples were obtained using a stomach tube 2 hours after the morning meal to determine pH and volatile fatty acid concentrations. Sodium monensin reduced ( $P < 0.05$ ) dry matter (DM) intake ( $\text{g/kg}^{0.75}$ ) of lambs, whereas sodium malate had no effect. Lower DM digestibility of lambs fed the sodium malate rations may be primarily attributed to a reduction in FDN digestibility, since the ionofore or sodium malate did not affect the digestibility of non-fiber carbohydrates (NFC), which are readily available for rumen fermentation. Rumination time was greater for lambs fed the sodium lasalocid rations, apparently in response to a higher DM intake, although time dedicated to eat was not different from lambs fed rations with sodium monensin. Rumen pH was similar ( $P < 0.05$ ) for all treatments ( $\text{pH} > 5.5$ ). Below this pH level, rumen acidosis is more prevalent. Since 50% of sorghum in the ration was whole grain, rumination activity may have been stimulated, secreting more saliva which may have buffered rumen pH. Nitrogen balance was greater for lambs fed the lasalocid rations, which had a higher crude protein intake. On the other hand, lambs fed the sodium malate rations had a lower apparent N digestibility.



# I. INTRODUCCIÓN

La producción de carne de ovino es una alternativa para una población cada vez mas demandante que tiene una gran tradición por su consumo, lo que ha propiciado una gran demanda que sobrepasa la oferta nacional (Cruz, 1992).

Debido a que la ganancia diaria de peso de los borregos que se desarrollan exclusivamente en pastoreo es baja, se recomienda el uso de suplementos o concentrados para mejorar su productividad. Los productores están optando por confinar los machos destinados al sacrificio, ofreciendo raciones con alta densidad de nutrientes, en las que se incluyen aditivos que mejoran la productividad (Kawas, 1991), y evitan la acidosis ruminal que es causada por el consumo excesivo de grano (Kawas, 2002).

De los aditivos no-nutritivos que pueden usarse en la nutrición de borregos en corral, destacan los Ionóforos, los cuales modifican la fermentación ruminal, mejorando la utilización de la energía de la ración, y en consecuencia, la eficiencia alimenticia (Bergen and Bates, 1984). La monensina, el lasalocida, la salinomicina y la laidlomocina son miembros de la familia de los compuestos químicos colectivamente conocidos como ionóforos. Estas moléculas, de bajo peso molecular, son capaces de formar complejos catiónicos liposolubles que capturan iones de varios minerales y modulan su movimiento a través de las membranas celulares. Se ha demostrado que algunos ionóforos inhiben el crecimiento de bacterias gram-positivas (*Streptococcus bovis*, etc.), alteran la fermentación

ruminal, y afectan el transporte de nutrientes a través de las membranas (Bergen y Bates, 1984).

Se ha encontrado que la monensina puede incrementar la producción láctea, al modificar en forma primaria la fermentación ruminal. También puede reducir el riesgo de cetosis, alterando la composición corporal previa a la lactación por diversos cambios en la función ruminal, que mejoran la disponibilidad de energía de la ración, reduciendo la movilización de grasa y la presenecia de cuerpos cetónicos en sangre. La monensina reduce el riesgo de timpanismo, acidosis y coccidiosis. Además, facilita la respuesta inmune del organismo, por lo que se ha considerado que su uso representa mejoras importantes en la nutrición de bovinos productores de carne y leche (NRC, 1996; 2001).

Otro aditivo que se ha estado comercializando, es una sal disódica del malato (DL-Malato de sodio), a la que se le ha atribuido el efecto de aumentar la utilización de lactato ruminal, especialmente por la bacteria predominante, *Selenomonas ruminantium* (Nisbet y Martin, 1990; 1991; 1993; 1994). El DL-malato es un ácido dicarboxílico, que en estudios *In vitro*, se ha adicionado a fermentaciones de almidón soluble y maíz quebrado con microorganismos ruminales mixtos, ha resultado cambios en el pH final, el metano y los ácidos grasos volátiles (AGV) de la fermentación, análogos a los efectos que tiene un ionóforo (Martin y Streeter, 1995; Callaway y Martin, 1996). Además, Callaway y Martin (1996) observaron un efecto aditivo del DL-Malato y monensina sódica en fermentaciones de microorganismos ruminales mixtos.

## **HIPOTESIS**

La inclusión de un ionóforo con o sin malato de sodio a raciones de engorda para ovinos, afectan el consumo, la digestibilidad y la fermentación de los nutrientes.

## **OBJETIVO GENERAL**

Comparar dos ionóforos (monensina y lasalocida) con y sin malato de sodio, en raciones para corderos pelibuey, en el consumo, la digestibilidad, retención de nitrógeno, actividades de masticación (tiempos de consumo y rumia), y fermentación ruminal, para evaluar la eficacia de estos compuestos como modificadores digestivos para reducir la acidosis ruminal y el efecto aditivo de los ionóforos con el malato.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### 2.1. Ovinos de pelo

El ovino de pelo es un animal rústico y fértil, adaptado a las condiciones del trópico, que tiene un potencial importante para la producción de carne, la cual en relación a las carnes procedentes de otras especies de animales criados por el hombre, goza de una amplia aceptación entre la población Mexicana. Razón de esta preferencia es su excelente textura y sabor, no dejando a un lado su riqueza nutricional (SAGARPA, 2001).

Recientemente, se ha despertado el interés por la crianza y producción de ovinos, ya que en los últimos años, ha tenido gran demanda la carne de esta especie, que ha superado al millón de cabezas al año (SAGARPA, 2001). El rebaño nacional es de apenas 5, 980,000 cabezas reportadas (FAO, 2002), de los cuales 10,775 se ubicaron en Nayarit, concentrándose el 48% en los municipios de Compostela (18.2%), Bahía de Banderas (16.2%) y Santiago Ixcuintla (13.6%). La mayoría de los rebaños son de las razas Pelibuey, Black Belly y sus cruza (INEGI, 2001), y apenas alcanzan a satisfacer un 42.3% de la demanda actual, mientras que el 57.7% restante son importaciones de carne y animales en pie, provenientes de países eminentemente ovejeros, regularmente, ovejas de desecho y canales congeladas (SAGARPA, 2001).

Debido al aumento en la demanda del mercado nacional por la carne de ovinos, los sistemas de producción de esta especie, por su temperamento, docilidad, facilidad de cría y poca exigencia de inversión, se ha incrementado en

los últimos años, siendo más rentable su producción en comparación con otro tipo de animales domésticos, principalmente debido a las posibilidades que existen de aprovechar algunos recursos naturales que con otras especies no resultaría provechoso utilizar (SAGARPA, 2001).

### 2.1.1 Razas

**Pelibuey.** Sus principales características, estar desprovisto de lana y ser rústico, han hecho más fácil su adaptación en nuestro medio ambiente. Asimismo la raza Pelibuey es una alternativa más que puede contribuir a satisfacer las demandas de carne de nuestra población. Actualmente la cría del borrego Pelibuey es una actividad complementaria a otras de mayor economía y contribuye para generar ingresos a los empleados del campo a nivel familiar (Arteaga, 1999).

**Black Belly.** Raza de ovino de pelo originaria de la isla de Barbados en América Central. Se caracteriza por su buena prolificidad, poliestricidad anual y precocidad reproductiva. Sin embargo carece de aptitud lechera y conformación cárnica. Los carneros adultos pesan entre 50-55 kg y las ovejas entre 40 a 45 kg. Las ovejas son múltiparas, presentando un 20% de partos simples, 40% de partos dobles y 30% de partos triples (González, 1998).

**Katahdin.** Son ovejas resistentes, adaptables, de bajo mantenimiento, que producen alto contenido de carne y bajo en grasa. No tienen lana, por lo tanto no necesitan esquila. Son de tamaño mediano, criados en una variedad de sistemas de manejo por su utilidad y producción. Las ovejas tienen una habilidad maternal

excepcional y son prolíficas. Los corderos nacen vigorosos y alertas. La raza se adapta bien a sistemas de pastoreo (Arteaga, 1999).

**Dorpers.** Es una raza adaptable a cualquier tipo de clima ya que en Sudáfrica, de donde es originaria, se mantienen en terrenos desérticos, y en países como Kenya, en zonas de vegetación tropical. Es una raza resistente al sol, a los parásitos y además tiene una reproducción continua no estacional. Al ser una raza de pelo no requiere de trasquilarse y mantiene una condición corporal buena aún en condiciones de escasa pastura. Otra ventaja es que ha sido seleccionada en los últimos 50 años por habilidad de supervivencia en su país de origen, por lo que es rústica. A escasos dos años de haberla introducido al país, se encuentra en los estados de Veracruz, Yucatán, Puebla, Querétaro, Guanajuato, Baja California, Colima y Morelos. Las cruza principales son con borregos de pelo. Los rasgos prácticos en la raza incluyen, disposición tranquila, adaptabilidad y buena calidad de carne (Mason, 1999).

### **2.1.2. Sistemas de producción**

Los sistemas de producción de los ovinos en la gran mayoría de los estados de nuestro país, no están bien tecnificados, y varían desde los sistemas rústicos de traspatio y libre pastoreo entre las huertas frutícolas, sin ningún manejo, hasta las comerciales, de tipo intensivo, donde se practica el pastoreo diurno con confinamiento nocturno, y aun más, el pastoreo continuo con praderas de pastos inducidos. Ciertamente, la falta de programas específicos de manejo sanitario, nutricional y reproductivo, entre otros, además del desconocimiento total, en

algunos casos, del nivel de producción y los efectos que el clima tiene sobre esta, se ha reflejado en una falta de productividad en estos sistemas de producción.

Una de las ventajas que un productor puede considerar para inclinarse para iniciar una empresa productora de carne de ovino, es la alta eficiencia que este rumiante tiene, requiriendo de 4.5 a 5.5/Kg de alimento por 1 Kg de peso incrementado. Otra ventaja es el valor que tiene la carne de ovino en el mercado. Durante los últimos dos años, el precio de la carne se ha mantenido entre los \$17.00 y \$21.00 por kilo (SAGARPA, 2001), mientras que la carne de bovinos tiene un menor precio en el mercado.

Una de las mejores características de los ovinos es su adaptabilidad a los diferentes sistemas de producción, ya que por su misma rusticidad, se pueden adaptar tanto a los terrenos accidentados como las llanuras, ya sea comiendo forraje tosco o raciones balanceadas (Mason, 1999).

## **2.2. Nutrición de corderos en confinamiento**

### **2.2.1. Fermentación y los microorganismos del rumen**

Los alimentos ingeridos por los rumiantes son fermentados por la población microbiana ruminal principalmente a ácidos grasos volátiles (AGV), los cuales son de cadena corta (acético, butírico, propiónico y láctico), utilizados como fuente de energía y calor por el animal. Las concentraciones y relaciones de estos varían con la dieta del animal. El *Ruminococcus albus* es una bacteria ruminal importante en la degradación de la celulosa, la cual se fermenta principalmente a acetato y lactato (Van Soest, 1994; Weimer, 1998).

La población de microorganismos ruminales fermenta los carbohidratos, para producir energía, gases ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ), calor y ácidos. Los ácidos acético,

propionico y butírico conforman el 95% de ácidos producidos en el rumen. La fermentación de aminoácidos generados en el rumen produce los ácidos llamados iso-ácidos, los cuales son utilizados por las bacterias ruminales para su desarrollo y crecimiento, del cual se sintetizara proteína. El CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> son eructados y la energía todavía presente en el CH<sub>4</sub> se pierde o se usa para mantenimiento de la temperatura corporal (Van Soest, 1994; Weimer, 1998).

Los AGV son productos finales de la fermentación microbiana y son absorbidos a través de la pared del rumen. La mayoría del acetato y todo el propinato son transportados al hígado, mientras que el butirato se convierte en la pared del rumen en acetona, acetoacetato y β-hidroxybutirato. Los cuerpos centónicos, durante las etapas iniciales de lactación, provienen también de la movilización de tejidos adiposos (Van Soest, 1994).

Los alimentos de los rumiantes están integrados en gran parte por forrajes y alimentos toscos con alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina. Por esta razón los rumiantes han desarrollado un sistema de fermentación pregástrica en la que interviene la población bacteriana (10<sup>8</sup> a 10<sup>9</sup>/ml del contenido ruminal). En esta población microbiana se han identificado más de 60 especies, la mayoría de organismos anaeróbicos (no forman esporas). El alimento se fermenta antes de que pase a ser digerido por las enzimas digestivas que secreta el propio animal (Van Soest, 1994). La degradación de los alimentos se realiza mediante fenómenos físicos y químicos. El contenido ruminal se mezcla continuamente con la contracción de las paredes ruminales, precisamente durante la rumia. El factor que induce a la rumia es el estímulo táctil en el epitelio anterior del rumen que provoca el alimento tosco o fibroso. El



tiempo usado en la rumia depende del contenido de fibra de la ración. Los animales en pastoreo emplean casi siempre el mismo tiempo (aproximadamente 8 h) que dura el pastoreo (Van Soest, 1994).

#### 2.2.1.2. Digestibilidad y utilización de la energía

**Digestibilidad.** El conocimiento de la digestibilidad de los alimentos es básico para establecer su valor nutritivo y por lo tanto para la formulación de las raciones para los rumiantes.

Sin embargo, la determinación de la digestibilidad *in vivo* es un proceso laborioso y costoso y que requiere del empleo de grandes cantidades de alimento por lo que se han propuesto distintos métodos *in vitro* para su estimación. El procedimiento propuesto por Tilley y Terry (1963), es el más ampliamente usado en la mayoría de los laboratorios. Sin embargo, la técnica desarrollada por Van Soest (Goering and Van Soest, 1970) es una alternativa al método de Tilley y Terry (1963), el cual consiste en una incubación de los alimentos con líquido ruminal durante 48 horas a 39°C, seguida del tratamiento del residuo obtenido con una solución neutro-detergente durante una hora a 100°C. Los valores obtenidos se consideran una estimación de la digestibilidad de la pared celular de los forrajes (Van Soest et al., 1994).

La Digestibilidad *in vivo* de los alimentos se ve afectada por numerosos factores, entre los que destacan el tipo de ración, el nivel de ingestión, el consumo de alimentos, la especie animal y el estado fisiológico del mismo. De todos los factores, el efecto de la relación forraje-concentrado ha sido uno de los más estudiados. En experimentos realizados con ganado ovino (Fimbres et al., 2002; 2002), se ha observado que a medida que aumentaba la proporción de

concentrado en la ración, se reduce la digestibilidad de los componentes de la pared celular y de los carbohidratos no-estructurales, debido a un mayor consumo de alimento y velocidad de paso del alimento.

Además, un alto contenido de concentrado en la ración afecta la digestión ruminal de la materia seca, debido a una inhibición del crecimiento y actividad de los microorganismos ruminales, afectando la digestibilidad *in vivo* (Owens et al., 1998; Weimer, 1998). Entre los indicadores del valor nutricional de un alimento, esta la digestibilidad de la MS de pastos y forrajes toscos, utilizados para alimentar rumiantes. Esta depende principalmente de su degradación en el retículo-rumen. Dicho parámetro puede estimarse experimentalmente como digestibilidad *in situ*, mediante la técnica de la bolsa de nylon en rumen (Orskov, et. al., 1980), la que es ampliamente utilizada en estudios de degradación y cinética ruminal con bovinos y otros rumiantes, evaluando la digestibilidad de granos y forrajes (Coté et al., 1983).

**Energía.** La energía se define como el potencial para producir trabajo. El calor de combustión o energía bruta, es la energía liberada cuando una substancia orgánica es completamente oxidada a CO<sub>2</sub> y agua. La energía bruta esta relacionada con la composición química, aunque no aporta información con respecto a la energía disponible para el animal (NRC, 1996).

Investigaciones recientes con respecto a la nutrición del ganado de engorda, ha sido dirigida a reducir la cantidad de forraje requerido en raciones con alto contenido de grano, con el propósito de mejorar la utilización de la energía de la ración y reducir el costo por kg incrementado. La energía que se obtiene de la fermentación de los forrajes, es frecuentemente mas costosa que aquella obtenida

de los granos de cereal, y por esta razón, se incluyen solamente pequeñas cantidades de forraje en las raciones para engorda en corral (Bartle y Preston, 1991). Cuando un forraje es excluido de la ración, el crecimiento es similar a aquellos animales que consumen raciones típicas para engorda en corral (Loerch, 1991). Bartle y Preston (1991) han demostrado el beneficio económico de reducir el contenido de forraje en las raciones de finalización. La mayoría de los estudios de investigación con raciones altas en grano han sido llevados a cabo con bovinos de carne, siendo muy limitados los estudios con ovinos, especialmente con razas de pelo.

## **2.2.2. Evaluación nutricional de los alimentos**

### **2.2.2.1. Sistema proximal**

El sistema de análisis proximal de alimentos se divide en seis fracciones: humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y fibra cruda (AOAC, 1997).

**Humedad.** El contenido de humedad se determina a partir de la pérdida de peso que experimenta una cantidad conocida de alimento durante el desecado en una estufa a 55-60°C. La humedad residual se obtiene al introducir una muestra de este material pre-seco en una estufa a 105°C. Los laboratorios comúnmente valoran los alimentos para consumo animal usando el sistema de análisis Weende o químico proximal (McDonald *et al.*, 1995).

**Cenizas.** Los elementos minerales, en conjunto son determinados en el alimento o tejidos por la incineración de la materia orgánica. El residuo se pesa, y el material inorgánico que queda después de combustión se conoce como cenizas. Una determinación de este tipo no muestra las concentraciones de los

elementos específicos presentes en el alimento. Para esto, es necesario realizar análisis específicos para determinar cada uno de los minerales (macrominerales o minerales traza) presentes en la muestra (AOAC, 1997).

**Proteína cruda.** Las proteínas son aquellas sustancias que forman parte de un organismo vivo y se caracterizan químicamente por poseer como elemento distintivo al nitrógeno. El método de determinación se basa en las reacciones de oxidación y reducción. Inicialmente se usa un oxidante fuerte, el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado. A esta reacción se le llama digestión. Los compuestos que tienen carbono son oxidados a  $CO_2$  y  $H_2O$  por el  $H_2SO_4$ , y este forma un complejo con el nitrógeno, en forma de  $NH_3$ , proveniente de compuestos orgánicos e inorgánicos. Consecuentemente, el  $NH_3$ , en presencia de  $H_2SO_4$ , se convierte en  $(NH_4)_2SO_4$ . Esta reacción se efectúa en presencia de una mezcla catalizadora de  $Na_2SO_4$ , compuesto que se emplea para incrementar el punto de ebullición del  $H_2SO_4$ . Otro reactivo usado es el  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , el cual acelera la reacción (Goering y Van Soest, 1970).

**Extracto etéreo.** El Extracto Etéreo se determina mediante la extracción continua con calor de todas las sustancias solubles en éter dietílico, provenientes de una muestra seca. La razón por la que la muestra debe secarse antes de la determinación es que el azeotropo (\*) éter-agua disuelve los compuestos polares, principalmente carbohidratos solubles, los cuales al extraerse se altera el valor de extracto etéreo. Además de los lípidos, esta fracción incluye ceras, ácidos orgánicos, alcoholes y pigmentos (Goering y Van Soest, 1970).

**Extracto libre de nitrógeno.** Los carbohidratos de los alimentos se encuentran en dos fracciones llamadas fibra bruta y extracto libre de nitrógeno. La

fibra bruta se determina sometiendo la muestra libre de extracto etéreo a ebullición, con una solución alcalina y otra ácida. El residuo representa la fibra cruda (McDonald, 1995).

El extracto libre de nitrógeno se obtiene restando de 100, la suma de las cantidades (%) obtenidas en los análisis de humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo y fibra cruda. Esta última incluye celulosa y parte de la lignina y hemicelulosa. Esta fracción está compuesta por una mezcla de todos los componentes no determinados en las otras fracciones, incluyendo azúcares, almidones, ácidos orgánicos, pigmentos, entre otros (McDonald, 1995).

#### **2.2.2.2. Sistema Detergente de Análisis**

El sistema de análisis proximal que se utiliza comúnmente no es suficiente para evaluar los forrajes toscos, sobreestimándose o subestimándose algunos componentes químicos, especialmente con alimentos altos en fibra. Un sistema de análisis complementario que se ha desarrollado para evaluar los alimentos altos en fibra es el Sistema Detergente (Goering y Van Soest, 1970), el cual consiste en separar los componentes en contenido celular y pared celular. El resultado es una mejor estimación de los componentes o entidades químicas que representan a la fibra completa (pared celular; fibra en detergente neutro) o la fibra indigestible (fibra en detergente ácido).

#### **2.2.3. Problemas digestivos**

##### **2.2.3.1. Acidosis Ruminal**

La acidosis ruminal se define como una reducción excesiva del pH en el rumen debido a una fermentación excesiva. Debido a que el pH es el factor más crítico que afecta el crecimiento microbiano en el rumen, una alteración con

respecto de lo normal (pH de 5.8 a 6.2) tiene un impacto negativo en el animal. La masticación que ocasiona un flujo masivo de saliva hacia el rumen, evita fluctuaciones en el pH ruminal (Owens et al., 1998).

La acidosis es el padecimiento nutricional mas común en los corrales de engorda. La acidosis láctica ocurre frecuentemente en ganado bovino y ovino de engorda en corral o en aquellos animales que reciben raciones con alta densidad energética o baja fibra. Una gran cantidad de alimentos altamente fermentables (almidones y azúcares) que contienen los granos de cereal, consumidos en un corto período de tiempo, pueden resultar en la producción de mas ácido láctico que el puede ser amortiguado por el rumen. El resultado es la atracción de agua del sistema circulatorio al rumen, el organismo se deshidrata y ocurren cambios drásticos en el pH de la sangre (Owens et al., 1998).

La condición es diagnosticada como aguda, subaguda o crónica. Un pH menor de 5.5 es considerado acidosis aguda. Una acidosis aguda puede ser detectada cuando se observan los siguientes signos: (1) pataleo abdominal; (2) reducción en la motilidad ruminal; (3) falta de apetito; (4) aumento en la frecuencia cardiaca; (5) diarrea profusa; (6) gorgoteo gaseoso en el rumen; y (7) respiración superficial (Owens et al., 1998).

Los casos agudos de acidosis generalmente se presentan en corderos después de una equivocación en la formulación de raciones o en la alimentación (la fibra equivocadamente se omite o se ofrece otra ración con menos fibra). Otras causas de una acidosis pueden ser, el consumo rápido por hambre, cambios drásticos en las raciones que consume el rumiante y raciones con cantidades inadecuadas de forraje. La adaptación de los animales a las raciones y la

programación de alimentación son prácticas de manejo necesarias para reducir la incidencia de acidosis del ganado en corral (Owens et al., 1998).

Los animales que sobreviven una acidosis aguda pueden presentar problemas tales como rumenitis fungal, abscesos en el hígado, timpanismo y laminitis. Debido a una sobrecarga en el consumo de grano, el organismo atrae fluido fuera de las extremidades para diluir el rumen. Un aumento en la circulación resulta del movimiento de fluidos. Las arterias que distribuyen sangre a las patas aumentan en tamaño, permanentemente. El aumento en el flujo sanguíneo resulta en un crecimiento (alargamiento) continuo de las pezuñas que causa cojera (Owens et al., 1998).

#### **2.2.3.2. Enterotoxemia**

La enterotoxemia, causada por la bacteria *Clostridium perfringens* tipo D, es el problema nutricional más comúnmente encontrado en corrales de engorda para corderos. El estrés y los cambios repentinos en la composición de la ración (menos forraje y más grano) aceleran esta enfermedad. Los corderos que son destetados temprano deben ser vacunados dos veces antes del destete. Corderos mayores, ya destetados, que son transportados a los corrales de engorda, deben ser vacunados dos veces, no importa si son destinados a pradera o corral. Mezclando un amortiguador (buffer) en la ración cuando los corderos comienzan a consumir o cuando aumenta el nivel de concentrado en la ración, acortará el período de adaptación, al reducir la incidencia de acidosis. Ofrecer un antibiótico de amplio espectro en la ración alta en grano ayuda a mantener los corderos saludables, permitiendo que toleren mejor el estrés durante el período de finalización (The Merck Veterinary Manual, 1991).

### **2.2.3.3. Calculo Urinario**

Ocurre comúnmente en corderos machos durante el desarrollo, y especialmente durante la finalización. Mantener la relación Ca:P en 2:1 o mas y proporcionar agua fresca, se puede prevenir el calculo urinario. La inclusión de sales aniónicas en el alimento puede reducir la incidencia de cálculos, aun cuando la relación Ca:P sea inadecuada, el consumo de sal sea optimo y agua de alta calidad este disponible en forma continua (The Merck Veterinary Manual, 1991).

### **2.2.4. Características de las raciones**

#### **2.2.4.1 Raciones altas en grano**

La incidencia de problemas nutricionales en corderos en crecimiento y finalización depende del manejo alimenticio de los corderos, la severidad del estrés, y la habilidad innata de los corderos para soportar el estrés (Owens et al., 1998).

#### **2.2.4.2 Forma Fisica del Grano**

Diferentes tipos de procesamiento de los granos han sido usados en la engorda de ganado en corral. Los métodos de procesamiento varían en costo y efectividad. El propósito principal del procesamiento de los granos es aumentar la disponibilidad de los almidones, y consecuentemente de energía. Dependiendo del tipo de procesamiento, las características del alimento pueden también cambiar, afectando el desempeño de los animales.

En la engorda de corderos en corral, el método de procesamiento mas comúnmente usado es la molienda. Sin embargo, el Consejo Norteamericano de Granos Forrajeros (United States Feed Grain Council, USFGC), una entidad no lucrativa representante en México de los productores de sorgo, maíz y cebada de

los Estados Unidos de Norteamérica, ofrece asesoría técnica a la industria pecuaria de México. Las recomendaciones del Consejo Norteamericano de Granos Forrajeros (1994) son con énfasis en raciones altamente energéticas durante el período de engorda o finalización. Para este tipo de raciones, se requieren altos niveles de grano. La recomendación que la USFGC hace es la de no usar forraje e incluir sorgo entero para evitar problemas de acidosis. Sin embargo, aunque el cordero rumia gran parte del sorgo entero, pudiera haber pérdidas significativas de grano en las heces.

Pérez-Reyes (2000) llevó a cabo un estudio para determinar la cantidad más adecuada de sorgo entero y molido en la ración de corderos engordados en corral. La ración base contenía 15% de proteína cruda, y solamente la relación de sorgo entero:molido (100:0, 75:25, 50:50, 25:75; 0:100) cambió. El pH ruminal más bajo se obtuvo con la ración que contenía solamente sorgo molido. Con solamente sorgo entero en la ración, el pH ruminal fue mayor (6.7) que con solamente sorgo molido (6.3). El consumo de materia seca fue similar (77.5 y 75.4 g/kg<sup>0.75</sup> para sorgo entero y molido, respectivamente), mientras que el tiempo (h/d) dedicado a rumiar también fue mayor para la ración con solamente sorgo entero (4.2 vs. 3.1). La inclusión parcial de sorgo entero ayuda a reducir la incidencia de acidosis al tener un efecto fibroso (más rumia del grano y amortiguación del pH ruminal), mientras que la adición parcial de sorgo molido permite un mezclado más homogéneo de los microingredientes o premezclas en la ración. Consecuentemente, cuando menos 25% del sorgo de la ración debe estar entero, si se incluye de 5 a 10% de forraje (zacate, alfalfa, rastrojos, cascarillas de soya o

algodón) en la ración de finalización. Si en la ración de finalización se excluye el forraje, de 50-75% del grano debe estar entero.

#### **2.2.4.3. Efecto del Nivel de Grano**

En un estudio de Fimbres et al. (2000), se determinó el efecto del nivel heno en la ración de finalización sobre el desempeño productivo, las características de la canal de corderos, y parámetros de digestión y fermentación. Veinte corderos pelibuey machos enteros, con un peso promedio de 23.9 kg, fueron asignados aleatoriamente a uno de cuatro grupos en un diseño completamente al azar. Los tratamientos fueron: (1) 0%; (2) 10%; (3) 20% y (4) 30% de heno picado.

Los corderos fueron confinados individualmente en jaulas metabólicas de 1.5 m<sup>2</sup> (Fimbres et al., 2002). El consumo de materia seca (MS) fue 48.9% mayor en corderos consumiendo la ración con 30% de heno, en comparación con la ración sin heno, durante todo el periodo de 60 días. Durante los primeros 30 días, el consumo fue aun mayor (56.6%). Sin embargo, entre mayor fue el nivel de heno en la ración, menor fue la ganancia de peso. Diferencias entre periodos también fueron observadas, con una ganancia de peso promedio de 268 g/día durante los primeros 30 días, y una mucho menor ( $P<0.01$ ) ganancia diaria de peso de 149 g/día durante los últimos 30 días. Entre mayor fueron los días de estancia de los corderos en la engorda, menor fue la ganancia de peso. La eficiencia alimenticia de los corderos durante los primeros 30 días (5.0 kg/kg) fue mayor que durante los últimos 30 días (10.1 kg).

Los pesos de la canal (kg) caliente y fría se redujeron (lineal,  $P<0.05$ ) con un aumento en el contenido de heno en la ración (Fimbres et al., 2002). El peso del tracto gastrointestinal lleno tendió a aumentar con un aumento en el nivel de

heno en la ración. Sin embargo, no hubo un efecto de tratamiento en los pesos del tracto gastrointestinal vacío. El nivel de heno en la ración no afectó marmoléo, grado de finalización, cobertura de grasa o área del músculo longissimus (ojo del lomo). Ningún efecto del nivel de heno en las raciones fue obtenido con los pesos de piel, hígado, pulmones, testículos y sangre. El rendimiento de la canal para cortes primarios y cortes totales se redujeron linealmente ( $P < 0.001$ ) a medida que el nivel de heno en la ración se incrementó.

En otro estudio, Fimbres et al. (2002) estudió el efecto del nivel de heno en la ración de finalización para corderos sobre el consumo, digestibilidad, retención de nitrógeno, masticación y parámetros ruminales. El consumo de materia seca (MS) se incrementó linealmente ( $P < 0.05$ ) conforme aumento el porcentaje de heno en la ración, de 0 a 30%. Una diferencia en el consumo de MS de 38%, se observó entre corderos que consumieron las raciones sin heno y 30% de heno, variando de 61.1 hasta 84.8 g/kg<sup>0.75</sup>. El tiempo de rumia varió de 2.4 horas por día en corderos a los que les ofreció la ración sin heno, hasta 6.9 horas por día en corderos consumiendo la ración con 30% de heno. El tiempo de consumo varió de 1.5 a 1.9 horas, aumentando conforme se incrementó la cantidad de heno en la ración. La digestibilidad de la MS fue de 85.5, 79.9, 67.5 y 66.6% para 0, 10, 20 y 30% de heno en la ración, respectivamente. La digestibilidad de la fibra detergente neutro fue de 59.4, 58.2, 42.5 y 35% para 0, 10, 20, y 30% de heno en la ración, respectivamente. La digestibilidad de la carbohidratos no-estructurales disminuyó linealmente de 94.2% para la ración sin heno a 86.6% para la ración con 30% de heno. El nitrógeno retenido (%) disminuyó linealmente ( $P < 0.01$ ) con un aumento de heno de la ración, probablemente en respuesta a una menor disponibilidad de

energía. El pH ruminal aumentó linealmente conforme el heno en la ración se incrementó ( $P<0.01$ ). El porcentaje y la concentración molar del acetato aumentó linealmente ( $P<0.01$ ) a medida que el nivel de heno en la ración aumentó en la ración, mientras la concentración del propionato disminuyó.

#### **2.2.4.4 Adaptación a Altos Niveles de Grano**

El período para adaptar a los corderos a las raciones de engorda es de 2 a 3 semanas. Después de recibir con forraje a los corderos en los corrales con forraje, preferentemente de buena calidad, se debe aumentar gradualmente el alimento de iniciación. Mientras, se recomienda ofrece el forraje a libre acceso. El consumo puede aumentarse gradualmente cada dos días (100-150 g) hasta que estén consumiendo solamente la ración de iniciación. Generalmente, los programas de alimentación consideran 3 raciones (iniciación, transición y finalización). El cambio de una ración a otra debe ser gradual. Una alternativa es la de ofrecer la ración actual en la mañana y la siguiente ración (con mas grano) en la tarde, durante 3 días, hasta que solamente se ofrezca la ración nueva a libre acceso (Kawas, 2002).

### **2.3. Aditivos no nutritivos**

Los aditivos no-nutritivos son compuestos que no aportan algún nutriente, sin embargo, mejoran las características de los alimentos, modificando el consumo, la digestión y/o el metabolismo, y concomitantemente, mejoran la producción, la reproducción y/o la salud de los animales (Feed Additive Compendium, 2002).

### **2.3.1. Ionóforos**

La monensina, el lasalocida, la salinomicina y la laidlomocina son miembros de la familia de los compuestos químicos colectivamente conocidos como ionóforos (Feed Additive Compendium, 2002).

#### **2.3.1.1. Aspectos históricos de los ionoforos**

El nombre de ionoforo fue sugerido por Pressman en el año de 1969 (Pressman, 1976), describiéndolos como un grupo de compuestos naturales y sintéticos capaces de formar complejos catiónicos liposolubles que pueden transportar cationes a través de barreras de baja polaridad como lo son los solventes orgánicos y los lípidos (Chen et al., 1979). Dentro de este gran grupo de compuestos, la monensina y el lasalocid han sido categorizados por su modo de acción (Bergen y Bates, 1984) o por su estructura química (Westley, 1982), y frecuentemente son referidos como ionóforos polieter carboxílicos, combinando ambas clasificaciones.

A mediados de los años 70 el gobierno de los Estados Unidos aprobó el uso de los antibióticos en la alimentación de los animales, a partir de entonces estos compuestos se han utilizado para promover la eficiencia alimenticia del ganado para engorda. La monensina es el ionóforo más ampliamente utilizado en ganado de raciones para engorda en corral. Este compuesto modifica la fermentación ruminal por que reduce la producción de metano (CH<sub>4</sub>) y la degradación de proteína a amoniaco. La monensina aumenta el pH ruminal al reducir la síntesis de ácidos grasos volátiles (Domescik y Martin, 1999).

La monensina y la lasalocida han sido aprobadas en los Estados Unidos y en México, para su uso en raciones de rumiantes en crecimiento. Sin embargo, en

Estados Unidos, solamente la monensina sódica ha sido aprobada por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, Food & Drug Administration) como un aditivo no-nutritivo para mejorar la producción de leche en vacas lecheras y reducir la cetosis subclínica. En México, en Junio de 1994 se aprobó el uso de la Monensina y el lasalocida en raciones de vacas en producción, mientras que en borregos esta aprobado el uso de lasalocida (Livas, 2000).

Se ha sugerido que el modo de acción de los ionóforos es ambos antibacteriano y fisiológico. La monensina parece alterar los requerimientos de energía para mantenimiento de las bacterias que produce una alteración de la fermentación y una reducción potencial de la lisis celular y la proteólisis. Además, la Monensina puede alterar la motilidad del rumen, influenciando la tasa de cambio y el sitio de digestión de los nutrientes (Owens, 1980). Aunque la monensina y el Lasalocid son similares estructuralmente, no se sabe exactamente si los dos alteran la digestión en el rumiante de la misma manera.

### **2.3.1.2. Propiedades bioquímicas y mecanismos de acción de los ionoforos**

Son agentes anticoccidianos por formación de complejos con  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$ , los cuales transportan al interior de la célula, afectando la capa intra y extracelular. Los Ionoforos se unen a los cationes y de esta forma se transforman en transportadores que se mueven a través de la membrana celular, cargando iones y alterando el equilibrio hidroelectrico celular, con lo cual terminan con las reservas de energía de las células y desorganizan la estructura intracelular, destruyendo las coccidias (Prange et al., 1978; Bergen y Bates, 1984).

Las características estructurales de los ionóforos individuales determinan su influencia sobre el transporte de cationes a través de las membranas lipídicas.

Cada ionóforo tiene su patrón de selectividad única de iones debido a interacciones entre la flexibilidad conformacional del ionóforo y el radio atómico efectivo, y la densidad de carga de los cationes (Pressman, 1980). Consecuentemente, para la monensina,  $C_{32}H_{62}O_{11} \cdot H_2O$  (peso molecular de 688.9), la habilidad de formar un complejo es solamente para cationes monovalentes y se extiende sobre un rango de 0.95 a 1.95 armstrongs, con una especificidad (de mayor a menor) de  $Na > K > Rb > Li > Cs$  (Westley, 1978). La lasalocida, una molécula un poco menor de tamaño,  $C_{34}H_{54}O_8 \cdot H_2O \cdot C_2H_6O$  (peso molecular de 636.9) tiene un espectro de complejidad extremadamente amplio que incluye ambos cationes monobásicos,  $Cs > Rb > K > Na > Li$  y cationes diásicos,  $Ba > Ca > Mg$  (Westley, 1982).

Aunque sean estructuralmente similares, las diferencias químicas que existen entre los ionóforos polieter, radicalmente afectan sus selectividades catiónicas respectivas, y se puede sugerir un diferente modo de acción en el ecosistema ruminal.

Los cuatro ionóforos (monensina, lasalocida, laidomicina y salinomicina) parecen tener los mismos efectos sobre la fermentación ruminal. Uno de los más importantes mecanismos es la inhibición de la producción de metano durante la fermentación (Spears, 1990) y un aumento en la producción de ácido propiónico en el rumen, lo que resulta en una reducción en la relación molar de acetato a propionato (Spears y Schicker, 1989). Se ha demostrado que la monensina reduce la degradación de proteína y péptidos por los microorganismos ruminales, lo que resulta en un aumento del flujo de aminoácidos de origen alimenticio al intestino delgado de los rumiantes (Poos et al., 1979; Potter et al., 1984; Whetstone et al., 1981). Sin embargo, una reducción en la síntesis de proteína anula el beneficio del

aumento de proteína de origen alimenticio que escapa la degradación ruminal, con el resultado de un proceso sin cambios en la cantidad de aminoácidos totales que pasan al intestino delgado (Sprott et al., 1988).

### **2.3.1.3. Monensina**

La Monensina es un antibiótico sintetizado a partir del *streptomyces cinnamomensis*, del cual se producen dos poliketidos monensina A y monensina B. Ellos se introducen a la membranas y producen un efecto toxico por el transporte de iones monovalentes ( $K^+$ ,  $Na^+$  y  $H^+$ ) a través de la membrana biológica, cambiando el proceso electroneutral, colapsando los gradientes individuales de los iones, sin disipar el potencial de membrana. El  $Na^+$  es fuertemente preferido frente al  $K^+$ , mientras que el  $Na^+$  en relación con el  $H^+$ , es favorecido por la reacción (Haney y Hoehn, 1968; Liu y Reynolds, 1999).

Es un antibiótico de amplio espectro, que se obtuvo del *Actinomycete; Cinnamomensis de Streptomyces*. Es ligeramente soluble en agua y altamente soluble en solventes orgánicos (Liu y Reynolds, 1999) y se usa principalmente como aditivo para agregar al alimento del ganado (Feed Additive Compendium, 2002).

Los ionóforos pueden reducir los desperdicios energéticos que se generan con la fermentación de los forrajes en forma de gases como el metano. Sin embargo, la Monensina reduce el consumo de alimento en rumiantes en hasta un 10%, con la inclusión de 33 gramos de monensina por tonelada de materia seca. Por otro lado, el Lasalocid no afecta el consumo de MS (menos de 2%), cuando se incluye en la ración de rumiantes en las cantidades recomendadas como promotor en la dieta de rumiantes en crecimiento (Bagley et al., 1998; NRC, 1987).

El rumen es el sitio de acción primaria de monensina en los rumiantes. La monensina se encuentra disponible en varias formas para ser usado en el ganado y se ha venido usando tanto en ganado lechero (Australia), como en ganado productor de carne, desde hace 20 años. Esta puede ser incorporada al alimento de los rumiantes como aditivo o puede ser suministrada como bolo intraruminal en cápsulas de liberación controlada, la cápsula consiste en un cilindro de plástico que contiene 32 gramos de monensina que se liberarán en aproximadamente 100 días. Las tasas de inclusión más comunes de monensina en el alimento son de 10 a 30 mg/kg de alimento terminado (Ellis, 1989).

#### **2.3.1.4. Lasalocida**

La lasalocida es una sal sódica del ácido monocarboxílico producido por hongo *Streptomyces lasaliensis* (Berger et al., 1984) que posee cationes bivalentes (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>). Es un cristal incoloro, soluble en solventes orgánicos e insoluble en agua. Tiene como característica importante romper la membrana externa de las bacterias y protozoarios ruminales (ruptura osmótica intracelular), así como acumular o transferir iones de hidrógeno. Es actualmente usado como coccidiostato en aves y ha sido aprobado para su uso como aditivo en raciones para bovinos de carne que modifica selectivamente la flora ruminal y mejora la eficiencia digestiva del ganado, bajo la marca Bovatec®, de la compañía Hoffman La Roche Corporation, actualmente ALPHARMA.

Los ionóforos modifican el intercambio de iones a través de la membrana externa de los microorganismos del rumen. Su suministro modifica el metabolismo ruminal mediante la producción de ácidos grasos volátiles y disminución de la relación acético-propiónico. Se reporta mayor digestibilidad de la fibra de los

forrajes, aumento del pH ruminal, pasaje de proteínas a intestino delgado, mayor producción de leche y cambios en su composición química (Berger et al., 1984).

#### **2.3.1.5. Salinomicina**

La salinomicina es un ionóforo producido a partir de la fermentación de hongo *Streptomyces albus*. Fue descubierto y patentado en Japón por Kaken en 1973 (Berger et al., 1951), y lo venden bajo licencia a diversas compañías farmacéuticas multinacionales en distintas partes del mundo.

La salinomicina actúa contra las coccidias aumentando el transporte de iones de potasio hacia las células, con el consiguiente agotamiento de los sistemas celulares de vaciado de iones y una sobrecarga de agua. La Salinomicina actúa contra los esporozoides, los trofozooides y los esquizofoides de primera generación y es altamente efectivo contra las más importantes especies de *Eimeria spp* (Reffett-Stabe et al., 1989).

La salinomicina también es activa contra las bacterias gram-positiva, lo que ocasiona un potencial del crecimiento en cerdos y en pollos a los que se suministran dietas limitadas en proteínas. Además, disminuye el riesgo de contraer coccidiosis (Feed Additive Compendium, 2002).

Denominación química, fórmula molecular y estructural.

Química	$C_{42}H_{70}O_{11}$
Molecular	CAS 53003-10-4  PM=750
Estructural	Ácido-etil-6-[5-(2-(5-etiltetrahydro-5-hidroxi-6-metil-2H-piran-2-il)-15-hidroxi-2,10, 12-trimetil-1,6,8-trioxiadispiro[4.1.5.3]pentadec-13-en-9-il)2-hidroxi-1,3-dimetil-4-oxoheptil]tetrahydro-5-metil-2H-piran-2-acético

La salinomicina sódica es usada en la alimentación de los rumiantes ( $C_{42}H_{69}O_{11}Na$ ; PM=772). La salinomicina no es fabricada como materia prima pura, para fines analíticos se purifica por extracción con solventes o métodos cromatográficos. En estas condiciones, la salinomicina sódica es un polvo que tiene un punto de fusión de 140–142°C, es soluble en solventes orgánicos y casi insoluble en agua (Berger et al., 1951).

### 2.3.1.6. Laidlomocina

Más recientemente, otro ionóforo aprobado para su uso como aditivo ha sido la laidlomocina, un antibiótico ionóforo polieter, estructuralmente similar a la monensina. La laidlomocina tiene la capacidad de alterar favorablemente la fermentación ruminal (Kitame et al., 1974; Kitame y Ishida, 1976).

### **2.3.1.7. Recomendaciones de uso de los ionóforos**

En México, los tres ionóforos aprobados para usarse en alimentos para rumiantes son monensina, lasalocida y salinomocina. La monensina sódica esta actualmente aprobada para uso en alimentos para rumiantes en niveles entre 5 y 30 gramos por tonelada de alimento completo (90% de materia seca) o niveles de alimentación diaria que varían entre 50 y 360 mg por día, dependiendo de la especie animal y la función zootécnica de la misma (Schelling, 1984). Por otro lado, el nivel máximo de lasalocid en raciones para ovinos es de 30 ppm, mientras que la salinomocina se recomienda en una concentración de 12 ppm (Feed Additive Compendium, 2002).

### **2.3.2. Amortiguadores (buffers)**

Con los cambios en la alimentación y el manejo de vacas lechera, la acidosis ruminal se puede controlar usando sales minerales, a las que nos referimos como buffers (amortiguadores de la acidez), para mejorar el consumo de materia seca, la producción de leche, la composición de la leche y la salud (NRC, 1989). Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), sesquicarbonato de sodio (producido de la trona, conteniendo un mayor grado de pureza que esta), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ), carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y bentonita de sodio son los principales buffers usados para este propósito. Los buffers actúan para mantener la concentración de iones hidrógeno en el rumen, intestinos, tejidos y fluidos del organismo, aumentando inclusive, la tasa de paso de líquidos desde el rumen (Hemken, 1983; NRC, 1989).

La forma crónica de la acidosis de bovinos u ovinos en corral, puede ser parcialmente prevenida al agregar más forraje. Sin embargo, entre más forraje

reciban los corderos, menor es la ganancia de peso y mas desfavorable es la eficiencia alimenticia (mas kg de alimento por kg de peso incrementado) (Fimbres et al., 2002a). Además de la saliva que fluye hacia el rumen, el bicarbonato de sodio u otro buffer puede incluirse en las raciones para mantener un rango normal de pH del fluido ruminal. Sin embargo, no es común recomendar bicarbonato de sodio para aliviar los efectos de la acidosis en bovinos u ovinos productores de carne. Es mas, ni se menciona su uso en las tablas de requerimientos y composición química del NRC (1996) para bovinos de carne.

### **2.3.3. Microbiales de uso directo**

Los microbiales de uso directo (MUD) (DFM; direct fed microbials) que tradicionalmente se conocen como probióticos son organismos vivos o viables que ocurren naturalmente, los cuales pueden suplementarse en las raciones de animales domésticos (NRC, 2001). Los MUD se usan comúnmente en las raciones de animales durante periodos de estrés o bajo consumo de MS, asumiendo que el establecimiento de una población benéfica de microorganismos en tracto digestivo disminuye o previene el establecimiento de microorganismos patógenos. Los MUD han sido ofrecidos en forma continua con la intención de mejorar el desempeño productivo, alterar la fermentación ruminal y mejorar la utilización de nutrientes. Los mas comunes MUD son los cultivos fúngicos (*Aspergillus oryzae* y *Saccharomyces cerevisiae*) y las bacterias productoras de ácido láctico (*Lactobacillus* o *Streptococcus*). Algunos mecanismos de acción de estos microorganismos incluyen: (1) estimulación del crecimiento de microorganismos deseables en el rumen; (2) estabilización del pH ruminal; (3) alteración del patrón de fermentación y de sus productos finales; (4) aumento de la

digestibilidad de nutrientes; y (5) alivio al estrés a través de una mejor respuesta del sistema inmune (Yoon y Stern, 1995).

Con respecto al uso de levaduras, Newbold et al. (1996) sugirió que aunque "el porque" o "el como" los cultivos fúngicos aumentan el número de bacterias, no se conoce, se propone un mecanismo. Aparentemente, la actividad respiratoria de las levaduras protege a las bacterias anaeróbicas del rumen del daño por el oxígeno.

#### **2.3.4. Malato**

El malato es un ácido dicarboxílico de cuatro carbonos que es comúnmente encontrado en tejidos biológicos debido a que es un intermediario del ciclo del ácido cítrico (Lehninger, 1975). Aunque solamente las bacterias aeróbicas capaces de respirar (i.e., *Escherichia coli*), poseen un ciclo del ácido cítrico funcional (oxidativo), algunas bacterias estrictamente aeróbicas usan un ciclo reductivo o inverso del ciclo del ácido cítrico, conocido como la vía succinato-propionato para sintetizar succinato y(o) propionato. El malato es también un intermediario clave en la vía succinato-propionato, y la bacteria ruminal predominante *Selenomonas ruminantium* usa este paso metabólico (Gottschalk, 1986). En un estudio de Nisbet y Martin (1990), diferentes concentraciones (0.03 a 10 mM) de L-Malato fueron evaluadas *in vitro*, observando un efecto dosis-respuesta con respecto a la utilización de lactato por *Selenomonas ruminantium*. Estudios *in vitro* han mostrado que el DL-Malato altera favorablemente la fermentación ruminal (Martin y Streeter, 1995; Callaway y Martin, 1996).

Los intermediarios del ciclo del ácido cítrico se acumulan en tejidos vegetales y el Malato puede componer hasta 1.5% de la materia seca de los

zacates maduros (Bohman et al., 1963). Sin embargo, debido a que el Malato de los henos de alfalfa y zacate Bermuda desaparecen demasiado rápido del rumen, la suplementación de malato pudiera ser necesaria para asegurar concentraciones adecuadas en el rumen de este ácido orgánico, a través de la estancia del ganado en los corrales de engorda (Martin et al., 2000), especialmente con las raciones de finalización, que contienen niveles muy bajos de forraje (generalmente de 6 a 12%).

Poca investigación se ha llevado a cabo para evaluar los efectos del malato en el desempeño de rumiantes. Kung et al. (1982) reportaron que ofreciendo 140 g de malato por día resultó en un aumento en la persistencia de la producción de vacas lecheras y un aumento en la concentración de ácidos grasos volátiles en líquido ruminal al inicio de la lactancia.

Sanson y Stallcup (1984) obtuvieron una mejor ganancia de peso y eficiencia alimenticia con la suplementación de malato en la ración de toretes Holstein. Quince años después, Martin et al. (1999) llevaron a cabo 3 pruebas para evaluar el efecto del malato sobre el desempeño del ganado en corral. Estos autores concluyeron que alimentar DL-Malato al ganado que consume raciones altas en grano, alivio la acidosis subclínica y mejoró el desempeño en dos de las tres pruebas de finalización del ganado.

## III. MATERIALES Y METODOS

### 3.1. Características del sitio y del material experimental

#### 3.1.1. Situación geográfica y climática

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual está ubicada en la otrora Hacienda Buenavista, municipio de Saltillo, Coahuila, México. El municipio de Saltillo está localizado en el sureste del estado de Coahuila, en las coordenadas 101° 00' longitud oeste y 25° 25' latitud norte, a una altura de 1,600 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media anual es de 17.5°C y la precipitación media anual en el sur del municipio está en el rango de los 300 a 400 milímetros; al centro tiene un rango de 400 a 500 milímetros y al norte de 300 a 400 milímetros; con régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y escasas en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Los vientos predominantes van en dirección noreste con velocidad de 22.5 km/h. La frecuencia de heladas es de 20 a 40 días en la parte norte-noreste y suroeste. Saltillo tiene límites, al norte, con los municipios de Ramos Arizpe, Arteaga y General Cepeda, al sur, con los estados de Nuevo León y Zacatecas, al oeste, con el estado de Zacatecas y los municipios de Parras y General Cepeda, y al este, con el de Arteaga y el estado de Nuevo León. Los análisis de muestras de alimentos y heces se realizaron en la Universidad Autónoma de Nayarit, mientras que las muestras de orina y ácidos grasos volátiles se analizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

### **3.1.2. Los animales y tratamientos**

Veinte borregos en crecimiento, con un peso aproximado de 16 kg, fueron asignados aleatoriamente a cuatro tratamientos en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 2 (dos ionóforos y dos niveles de malato). Los cuatro tratamientos fueron: (1) ración con 30 ppm de lasalocida (LA) ppm); (2) ración con 30 ppm de lasalocida y 0.3% de malato (LA,CM); (3) ración con 30 ppm de monensina (MO); y (4) ración con 30 ppm de Monensina y 0.3% de malato (MO,CM). La ración base se presenta en el Cuadro 1. Los cinco borregos de cada tratamiento estuvieron en jaulas distribuidas al azar.

### **3.2. La alimentación y manejo de los corderos**

Los corderos fueron confinados individualmente en jaulas metabólicas de madera con piso de rejilla metálica (65 x 90 cm), las cuales disponían en la parte frontal de dos cubetas de plástico para comedero y bebedero.

Alimento y agua fueron ofrecidos a libre acceso. El total de alimento se ofreció dos veces al día (7:45 a.m. y 19:00 p.m.). El alimento ofrecido se calculó como el alimento consumido y una cantidad adicional del 10% para reducir la selección de los componentes de la ración por los borregos. El alimento rechazado se recogió cada 24 horas, en bolsas de plástico individualmente para cada animal.

Al finalizar el periodo experimental, muestras representativas del alimento ofrecido y del alimento rechazado de cada tratamiento se tomaron para ser analizadas. Los borregos se desparasitaron con ivermectina, fueron vacunados

contra enfermedades clostridiales, y recibieron una inyección de vitaminas A, D y E.

### **3.3. El período experimental**

El estudio completo constó de tres etapas: (1) etapa experimental; (2) etapa de análisis de muestras en el laboratorio; (3) etapa de análisis e interpretación de datos.

La etapa experimental tuvo una fase de adaptación a los alimentos de 14 días y una fase de muestreo y colección de datos de 9 días. Durante los primeros 7 días de la fase de colección, el total de heces y orina fueron colectadas, pesadas, identificadas y congeladas. En esta fase, también se colectaron e identificaron muestras alimento ofrecido, rechazado y líquido ruminal.

### **3.4. Análisis de muestras**

En el Laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAN, se determinó humedad, cenizas y proteína cruda. En el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa Interinstitucional de Ciencias Pecuarias (PICP) de la Facultad de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit (FAUAN), se determinó fibra en detergente neutro (FDN). En el Laboratorio de Alimentos del CEMIC de la UAN, se determinó extracto etéreo. La determinación de ácidos grasos volátiles se hizo en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

**Cuadro 1. Ración base utilizada en la alimentación de corderos, suplementada con levadura (L), bicarbonato de sodio (B), o los dos.**

Ingrediente	Kg/tonelada
Sorgo, grano <sup>1</sup>	700
Pasta de soya	115
Cascanilla de soya	100
Melaza	60
Carbonato de calcio	14
Urea	5
Sal	4
Premezcla <sup>2</sup>	2
<b>Composición química</b>	
Proteína cruda, %	15.7
ENm, Mcal/kg <sup>3,4</sup>	1.906
ENg, Mcal/kg <sup>3,4</sup>	1.278
Fibra en Detergente neutro, %	19.3
Calcio, %	0.79
Fósforo, %	0.35
Potasio, %	0.88

<sup>1</sup>Grano: 50% entero y 50% molido.

<sup>2</sup>Minerales traza, vitaminas A y E, Monensina sódica o Lasalocid sódico (30 g/ton), sin y con Melato (0.3%).

<sup>3</sup>ENm, Energía Neta para mantenimiento; ENg, Energía Neta para Ganancia.

<sup>4</sup>Valores calculados (NRC, 1996).

Al final de la fase de colección, las heces fueron secadas individualmente en una estufa de aire circulante a 55°C durante aproximadamente 96 horas, hasta un peso constante. Muestras de alimento ofrecido y alimento rechazado también

fueron secadas a 55°C. Todas las muestras de alimento y heces fueron posteriormente molidas a través de un molino Wiley con una criba de 2 mm, preparándolas para los análisis químicos, por triplicado.

Muestras compuestas, para cada animal, de heces, alimento ofrecido y rechazado, fueron secadas en una estufa a 105°C (AOAC, 1997) para determinar el contenido de MS. Extracto etereo (EE) fue determinado mediante el método Soxhlet (AOAC, 1997). El contenido de cenizas fue determinado después de la combustión en una estufa a 550°C, por 3 horas. El contenido de nitrógeno en alimento, heces y orina fue determinado usando el método micro-Kjeldahl (AOAC, 1997). El contenido de proteína cruda será calculado como  $N \times 6.25$ .

La fibra en detergente neutro (FDN; constituyentes de la pared celular) fue analizada en muestras de alimentos y heces de acuerdo al procedimiento de Goering y Van Soest (1970), con las modificaciones propuestas por Harris (1970). Algunas adecuaciones al procedimiento, fue específicamente el filtrado del residuo, el cual se llevó a cabo en embudos Buchner, utilizando papel filtro Whatman No. 40, el cual fue secado y pesado previamente, pasando la solución mediante succión, con apoyo de una bomba de vacío de 0.75 caballos de fuerza.

En el laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAN se determinó humedad, cenizas y proteína cruda. En el laboratorio de Nutrición Animal del Postgrado Interinstitucional de Ciencias Pecuarias (PICP), de la Facultad de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit (FAUAN), se determinó fibra en detergente neutro (FDN). En el Laboratorio de Alimentos de la CMIC de la UAN, se determinó extracto etéreo.

### 3.5. Cálculo de balance de N y de N retenido

Las ecuaciones para calcular el balance de N y el N retenido se presentan a continuación:

Balance de N (g/d) = N consumido - (N en heces + N en orina)

N retenido (%) = balance de N / N consumido x 100

### 3.6. Medición de los tiempos de masticación

El octavo día, después de la fase de colección de 7 días, durante un período de 24 horas, las actividades de consumo y rumia fueron registradas cada 5 minutos, para determinar el tiempo total de masticación.

### 3.7. Muestreo y análisis de líquido ruminal

Posteriormente, el noveno día de la fase experimental, una muestra de líquido ruminal fue obtenida mediante tubo estomacal, 2 horas después de la comida de la mañana. El pH ruminal fue medido inmediatamente después del muestreo, usando un potenciómetro Beckman. Muestras de líquido ruminal fueron enfriadas inmediatamente para parar la fermentación y fueron centrifugadas a 10,000 x g durante 10 minutos. Una cantidad de 5 ml de supernadante fue mezclado con 1 ml de ácido metafosfórico al 25% (peso/volumen), conteniendo un estándar interno (2 g de ácido 2-butírico), y centrifugado a 10,000 x g durante 10 minutos. La fracción supernadante fue analizada para determinar la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) usando un cromatógrafo de gases (Goetsch y Galean, 1983). Blancos (líquido ruminal + buffer) fueron procesados de la misma manera. Las concentraciones de acetato, propionato y butirato, y el total de AGV fueron determinados, después de ajustar la concentración de AGV con los blancos.

### 3.8. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados de acuerdo a un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 2, utilizando el programa SAS (1990).

Modelo

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta en la repetición

$\mu$  = Media general.

$A_i$  = Efecto factor A al nivel i

$B_j$  = Efecto del factor B al nivel J.

$(AB)_{ij}$  = Efecto de la interacción AB al nivel i,j.

$E_{ijk}$  = Error aleatorio

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

**Materia seca.** En el Cuadro 2, y Figura 1, se presentan las medias del consumo y digestibilidad de la MS de corderos consumiendo raciones con lasalocida (LA), monensina (MO), sin malato de sodio (SM) y con malato (CM). El consumo de MS fue significativamente menor con corderos que consumieron la ración con monensina ( $P < 0.05$ ) en comparación con los que consumieron raciones con Lasalocida. Los consumos de MS fueron 73.3, 65.3, 71.0 y 67.6 g/kg<sup>0.75</sup> para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. Fox y Black (1984) reportaron que el consumo de MS se redujo en 10% con 33 ppm de monensina, mientras que la reducción fue de solamente 2% con lasalocida. Sanson y Stallcup (1984) obtuvieron una mejor ganancia de peso y eficiencia alimenticia con la suplementación de malato en la ración de toretes Holstein. Quince años después, Martin et al. (1999) llevaron a cabo 3 pruebas para evaluar el efecto del malato sobre el desempeño del ganado en corral. Estos autores concluyeron que alimentar DL-Malato al ganado que consume altas en grano, alivio la acidosis subclínica y mejoró el desempeño en dos de las tres pruebas de finalización del ganado.

Los valores obtenidos en este estudio fueron intermedios a aquellos reportados por Fimbres et al. (2002), que notó que el consumo de MS de los corderos aumentó linealmente ( $P < 0.05$ ) conforme se incrementó el nivel de heno en la ración de 0 a 30%. La diferencia en el consumo de MS entre la ración sin heno y con 30% de heno fue de aproximadamente 38%. El consumo de MS

aumentó de 61.1 g/ kg<sup>0.75</sup> a 84.8 g/ kg<sup>0.75</sup>. En un estudio de digestibilidad realizado por García (2003), usando raciones con bicarbonato de sodio y/o levadura viva, mientras que el bicarbonato de sodio mejoró ( $P < 0.05$ ) el consumo de MS de los corderos, la levadura no lo afectó ( $P > 0.05$ ). En otro estudio largo (75 días) del mismo autor no encontró ningún beneficio de incluir bicarbonato de sodio en la ración de corderos.

No se observó diferencia ( $P > 0.05$ ) en la excreción de MS entre tratamientos. La excreción de MS fue de 198, 189, 187 y 200 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. Aunque no fue significativo ( $P > 0.05$ ), la digestibilidad de la MS tendió a disminuir con la inclusión de malato en las raciones. Las digestibilidades fueron 73.3, 65.3, 71.0 y 67.6% para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. La monensina puede alterar la motilidad del rumen, influenciando la tasa de cambio y el sitio de digestión de los nutrientes. Aunque la monensina y el lasalocida son similares estructuralmente, no se sabe exactamente si los dos alteran la digestión en el rumiante de la misma manera (Owens, 1980). Fimbres et al. (2002b) observó que la digestibilidad de la MS (%) fue de 85.5, 79.9, 67.5 y 66.6% para 0, 10, 20 y 30% de heno, respectivamente.

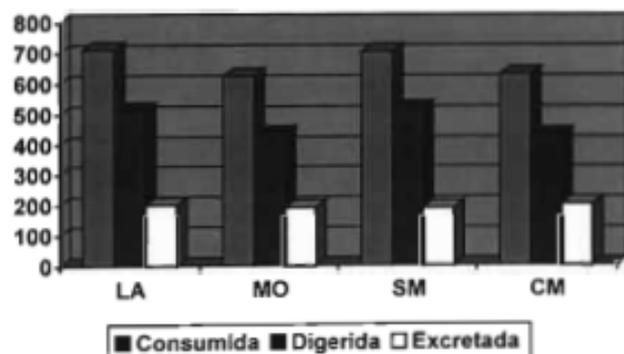
**Cuadro 2. Consumo y digestibilidad de raciones de engorda con lasalocida (LA) ó monensina (MO), sin y con malato de sodio, consumidas por ovinos Pelibuey.**

	Ionóforo		Malato			P <sup>2</sup>		
	LA	MO	SM	CM	EE <sup>1</sup>	Ionóforo	Malato	I x M <sup>3</sup>
Peso inicial, kg	20.8	20.3	21.3	19.8	1.52	0.768	0.333	0.837
MS consumida (g/d)	710	624	704	630	42.7	0.062	0.105	0.175
Consumo de MS (g/Kg <sup>0.75</sup> )	73.3	65.3	71.0	67.6	3.22	0.026	0.310	0.126
MS excretada (g/d)	198	189	187	200	22.0	0.663	0.542	0.645
MS digerida (g/d)	512	435	517	430	37.2	0.058	0.034	0.196
Digestibilidad de la MS (%)	71.8	69.6	73.4	68.0	3.05	0.486	0.097	0.870

<sup>1</sup>EE, error estándar de la media.

<sup>2</sup>P, probabilidad.

<sup>3</sup>Interacción Ionóforo x Malato.



**Gráfico No.1 Consumo, digestibilidad y excreción de MS (g/d) de las raciones, donde se observa que el consumo fue mayor en raciones con lasalocida.**

**Fibra en detergente neutro.** El consumo y la digestibilidad de la FDN se presentan en el Cuadro 3. El consumo de FDN se redujo con la inclusión de monensina ( $P < 0.01$ ) y malato ( $P < 0.05$ ) en la ración. Los consumos de FDN fueron 196, 122, 182 y 136 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

La FDN digerida (g/d) se redujo ( $P < 0.01$ ) con la inclusión de la monensina o el malato en la ración. La FDN digerible fue 116, 62, 113 y 65 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. En la Figura 3, se presenta la digestibilidad de la FDN (%). Aunque la digestibilidad de FDN tendió a reducirse con la inclusión de monensina o malato en la ración, no fue significativa ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. Fimbres et al. (2002b) reportó que la digestibilidad de la FDN fue 59.4, 58.2, 42.5 y 35% para las raciones con 0, 10, 20 y 30% de heno, respectivamente.

**Cuadro 3. Digestibilidad de la fibra en detergente neutro (FDN) de raciones de engorda con lasalocida (LA), monensina (MO), sin y con malato de sodio, consumidas por ovinos pelibuey.**

	Ionóforo		Malato		EE <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	LA	MO	SM	CM		Ionóforo	Malato	I x M <sup>3</sup>
FDN consumida, g/d	196.3	121.7	182.1	135.8	15.6	0.001	0.011	0.029
FDN excretada, g/d	80.6	59.8	69.5	70.9	10.3	0.064	0.898	0.598
FDN digerida, g/d	115.7	61.9	112.6	65.0	15.3	0.004	0.008	0.052
Digestibilidad FDN, %	56.5	50.5	60.3	46.6	7.8	0.461	0.105	0.595

<sup>1</sup>EE, error estándar de la media.

<sup>2</sup>P, probabilidad.

<sup>3</sup>Interacción Ionóforo x Malato.

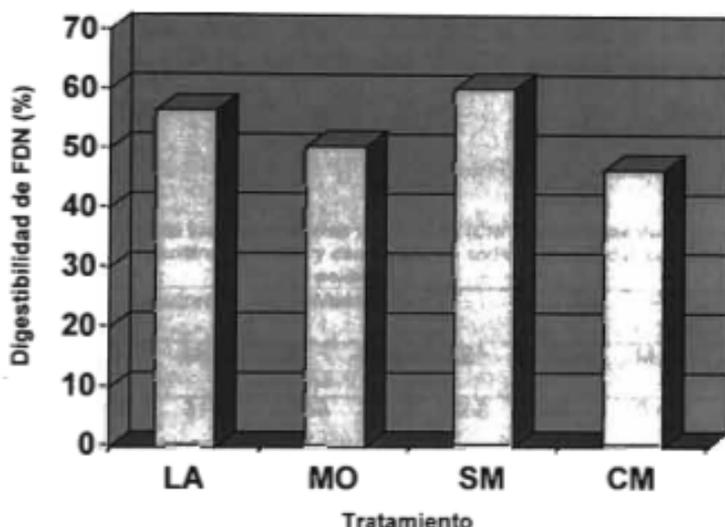


Figura 3. Digestibilidad de la FDN (%) de ovinos consumiendo raciones con lasalocida (LA), monensina (MO), sin malato (SM) y con malato (CM).

**Carbohidratos no-fibrosos (CNF).** El consumo de los CNF (g/d) no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 4). Los consumos de CNF fueron 305.2, 317.7, 320.3 y 302.6 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. El consumo de CNF digeridos no fue diferente entre tratamientos ( $P > 0.05$ ), siendo de 257.1, 257.7, 268.9 y 245.9 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

La digestibilidad de los CNF no fue diferente entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). La diferencia en digestibilidad de los CNF fue mas notoria cuando el malato se incluyó en la raciones con lasalocida (83.9 vs. 81.1%) que con la ración que contenía monensina (83.9 vs. 81.2%). Fimbres et al. (2002b) observó que la digestibilidad de los CNF se redujo linealmente de 94.2% con la ración sin heno a 86.6% con 30% de heno. García (2003) reportó que aunque el bicarbonato de

sodio o la levadura no afectaron ( $P>0.05$ ) la digestibilidad de la MS o de los CNF, la digestibilidad de la FDN (%) fue 14% mayor ( $P<0.05$ ) para los tratamientos sin bicarbonato de sodio.

**Cuadro 4. Digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos (CNF) de raciones de engorda con lasalocida (LA), monensina (MO), sin y con malato de sodio, consumidas por ovinos pelibuey.**

		Ionóforo		Malato		P <sup>2</sup>			
		LA	MO	Sin	Con	EE <sup>1</sup>	Ionóforo	Malato	I x M <sup>3</sup>
CNF consumidos, g/d		305.2	317.7	320.3	302.6	22.8	0.592	0.451	0.584
CNF excretados, g/d		48.1	61.0	51.4	57.6	6.4	0.064	0.349	0.337
CNF digeridos, g/d		257.1	257.7	268.9	245.9	21.5	0.979	0.304	0.366
Digestibilidad de los CNE, %		83.9	81.1	83.9	81.2	1.92	0.172	0.182	0.142

<sup>1</sup>EE, error estándar de la media.

<sup>2</sup>P, probabilidad.

<sup>3</sup>Interacción Ionóforo x malato.

## 4.2. Actividades de masticación

Las actividades de masticación (min/d), que incluyen las actividades de consumo y rumia, se presentan en el Cuadro 5. El tiempo que los corderos pasaron comiendo, no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. El tiempo de consumo fue 142, 130, 142 y 130 min/día para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. Fimbres et al. (2002) reportó un tiempo de consumo que varió de aproximadamente 1.5 a 2.9 horas, aumentando conforme se incremento el nivel de heno en la ración.

Las actividades de rumia disminuyeron ( $P < 0.05$ ) con la inclusión de monensina o Malato en la ración. Las actividades de rumia fueron 175, 117, 168 y 124 min/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. En el estudio de Fimbres (2002b), el tiempo de rumia varió entre 2.4 h/d en corderos consumiendo la ración sin heno a 6.9 h/d en los que consumieron la ración con 30% de heno.

El tiempo total de masticación (min/d) tendió a disminuir ( $P > 0.05$ ) con la inclusión de monensina o malato en la ración. El tiempo de masticación fue 317, 247, 310 y 254 min/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

**Cuadro 5. Actividades de masticación de ovinos pelibuey consumiendo raciones de engorda con lasalocida (LA), monensina (MO), sin y con malato de sodio.**

	Ionóforo		Malato		EE <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	LA	MO	SM	CM		Ionóforo	Malato	I x M <sup>3</sup>
Masticación (min/d)								
Rumia	175	117	168	124	20.1	0.012	0.046	0.693
Consumo	142	130	142	130	18.3	0.544	0.527	0.501
Masticación total	317	247	310	254	27.8	0.025	0.064	0.874

<sup>1</sup>EE, error estándar de la media.

<sup>2</sup>P, probabilidad.

<sup>3</sup>Interacción Ionóforo x malato.

### 4.3. Fermentación ruminal

La incorporación de DL-Malato en incubaciones *in vitro* estimuló la fermentación de microorganismos ruminales mixtos, y los cambios en los productos de fermentación y pH ruminal fueron similares a los efectos ya bien

conocidos que tienen los ionóforos sobre la fermentación microbiana en el rumen (Callaway y Martin, 1966; Martin y Streeter, 1995).

En el Cuadro 6, se presenta el pH y la producción de AGV en líquido ruminal de los corderos. El pH ruminal no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. El pH fue 5.83, 5.76, 5.76 y 5.83 para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. Los valores fueron similares aparentemente debido a que del total del sorgo de la ración, el 50% era grano entero, lo que pudo haber estimulado una mayor rumia, y consecuentemente, mas secreción de saliva, ayudando a amortiguar el pH ruminal. Además, un mayor consumo de MS, y posiblemente, mayor selección de componentes fibrosos, mas rumia y secreción de saliva, no permitieron a los tratamientos diferenciarse con respecto al pH ruminal. Fimbres et al. (2002b) reportó que el pH ruminal aumentó linealmente ( $P < 0.01$ ) al incrementarse el nivel de heno en la ración de los borregos.

Debido a que el malato de sodio en la ración aumentó el pH del rumen y los productos de fermentación en el estudio de Martin y Streeter (1995), estos autores sugirieron algunas aplicaciones como la inclusión de Malato en raciones de ganado recién llegado al corral o vacas lecheras de alta producción.

La concentración (milimoles) de los AGV (acetato, propionato y butirato), se presentan en el Cuadro 6. Aunque no se observó un efecto del ionóforo en la concentración de acetato ( $P > 0.05$ ), la inclusión de malato en la ración aumentó ( $P < 0.05$ ) la concentración de acetato en el líquido ruminal. Las concentraciones de acetato fueron de 55.6, 53.1, 48.2 y 60.5 milimoles, para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. Fimbres et al. (2002b) observó que la concentración (mmoles) de acetato aumentó linealmente ( $P < 0.01$ ) con una mayor cantidad de heno en la

ración, mientras que la concentración de propionato se redujo. Una mayor relación molar de acetato se observó con las raciones que contenían una mayor cantidad de fibra (heno).

En un estudio de Nisbet y Martin (1990), diferentes concentraciones (0.03 a 10 mM) de L-Malato fueron evaluadas *In vitro*, observando una efecto dosis-respuesta con respecto a la utilización de lactato por *Selenomonas ruminantium*. Estudios *In vitro* han mostrado que el DL-Malato altera favorablemente la fermentación (Martin y Streeter, 1995; Callaway y Martin, 1996).

El Ionóforo no afectó ( $P > 0.05$ ) la concentración de propionato en el rumen. Sin embargo, con la inclusión de malato en la ración, la concentración de propionato en el rumen aumentó numéricamente ( $P > 0.05$ ) en aproximadamente 30%, de 44.6 a 58.3 milimoles. Las concentraciones de propionato fueron de 52.1, 50.8, 44.6 y 58.3 milimoles, para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. En el estudio de fimbres, el % molar de propionato fue menor en raciones con mayor porcentaje de heno.

Callaway y Martin (1996) concluyeron que la suplementación de ácidos orgánicos puede ser benéfica para ganado bovino u ovino de engorda en corral o vacas altas productoras que consumen raciones rápidamente fermentables, al aumentar el pH ruminal, aumentando la producción de ácido propiónico, reduciendo la acumulación de ácido láctico que es el causante principal de la acidosis ruminal.

La concentración de butirato en líquido rumen no cambió ( $P > 0.10$ ) con la inclusión de Ionóforo o Malato en la ración. Las concentraciones de butirato fueron de 13.0, 13.0, 13.0 y 12.9 milimoles para LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

Fimbres et al. (2002b) observó que el % molar de butirato del líquido ruminal parece aumentar solamente hasta aproximadamente 20% de heno en la ración.

EL Ionóforo no afectó ( $P > 0.05$ ) la concentración de AGV totales en el rumen. La concentración de AGV totales aumento numéricamente (24%), aunque no fue significativo ( $P > 0.05$ ), de 105.8 a 131.7 milimoles, con la inclusión de malato en la ración. Las concentraciones de AGV totales fueron 120.7, 116.8, 105.8 y 131.7 milimoles para LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

El porcentaje molar de los AGV, acetato, propionato y butirato, no fue afectado ( $P > 0.05$ ) con la inclusión del Ionóforo o del malato de sodio. Los porcentaje molar promedio para todos los tratamientos fueron 46.4, 42.9 y 10.8 para acetato, propionato y butirato, respectivamente. La relación acetato:propionato no cambio ( $P > 0.10$ ) con la inclusión del Ionóforo o del Malato de sodio, siendo el promedio para todos los tratamientos de 1.13:1.

García (2003) reportó que el pH del contenido ruminal de corderos que consumieron raciones con bicarbonato de sodio y/o levadura viva, estuvo por encima del límite mínimo de 5.6 que se considera pueda causar una acidosis. El bicarbonato de sodio redujo ( $P < 0.05$ ) el por ciento molar de acetato y aumento ( $P < 0.05$ ) el de propionato.

**Cuadro 6. pH ruminal y producción de ácidos grasos volátiles en el rumen de ovinos pelibuey consumiendo raciones de engorda con monensina sódica o lasalocida sódico, sin y con malato de sodio.**

	Ionóforo		Malato		EE <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	LA	MO	Sin	Con		Ionóforo	Malato	I x M <sup>3</sup>
pH ruminal	5.83	5.76	5.76	5.83	0.15	0.611	0.639	0.435
AGV (milimoles)								
Ácido Acético	55.6	53.1	48.2	60.5	5.41	0.647	0.038	0.637
Ácido propiónico	52.1	50.8	44.6	58.3	7.63	0.863	0.094	0.742
Ácido butírico	13.0	13.0	13.0	12.9	3.56	0.997	0.985	0.361
Totales	120.7	116.8	105.8	131.7	12.98	0.769	0.065	0.522
AGV (por ciento molar)								
Ácido Acético	46.4	46.1	45.9	46.8	2.87	0.858	0.735	0.847
Ácido propiónico	43.3	42.4	41.9	43.8	3.49	0.791	0.599	0.797
Ácido butírico	10.1	11.5	12.2	9.4	2.31	0.536	0.234	0.532
Acetato:propionato	1.10	1.16	1.14	1.12	0.16	0.718	0.899	0.953

<sup>1</sup>EE, error estándar de la media.

<sup>2</sup>P, probabilidad.

<sup>3</sup>Interacción Ionóforo x malato.

#### 4.4. Utilización del nitrógeno

En el Cuadro 7, se presentan algunas variables relacionadas con la utilización del N consumido por los corderos. La excreción de orina fue de 319, 326, 341 y 304 ml/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

La cantidad de N consumido o excretado no fue significativamente diferente ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. El N consumido fue de 17.9, 15.6, 17.8 y 15.8 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. Del N consumido, 7.3, 6.93, 6.67 y 7.56 g/d fueron excretados en heces de corderos que consumieron las raciones con L,

M, SM, y CM, respectivamente. En orina, 3.78, 4.89, 4.51 y 4.15 g N/d fueron excretados por corderos que consumieron las raciones con LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

El balance de N (g/d) fue mayor ( $P = 0.05$ ) en corderos que consumieron la ración con monensina, que aquellos que consumieron el lasalocida. Aunque no fue significativo ( $P > 0.05$ ) el efecto del Malato sobre el balance de N, hubo una tendencia a que fuera menor en corderos que lo consumieron. El balance de N fue 6.84, 3.78, 6.56 y 4.06 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. El N retenido (%) fue menor en corderos que consumieron la monensina y el malato que en aquellos que consumieron las raciones con lasalocida o con malato. El N retenido fue 34.2, 21.2, 32.7 y 22.7 g/d para LA, MO, SM, y CM, respectivamente. Fimbres et al (2002b) notó que el N retenido (%) se redujo linealmente ( $P < 0.01$ ) al reducir la densidad energética al incluir mas heno en la ración. Con una mayor masticación de fibra, se secreta mas saliva que contiene bicarbonato, que ayuda a amortiguar la acidez ruminal. En el estudio de García (2003), los corderos que consumieron raciones con bicarbonato de sodio en la ración tuvieron 27% mas N retenido que los que no lo consumieron. Esto pudo deberse a la alta densidad energética de las raciones del estudio de García (2003).

La digestibilidad aparente del N (%) fue similar ( $P > 0.05$ ) para los dos Ionóforos, pero disminuyó ( $P = 0.05$ ) con la inclusión de malato en la ración. La digestibilidad aparente del N fue 58.8, 55.4, 62.4 y 51.8% para LA, MO, SM, y CM, respectivamente.

**Cuadro 7. Balance de nitrógeno de ovinos pelibuey consumiendo raciones de engorda con monensina sódica o lasalocida, sin y con malato de sodio.**

	Ionóforo		Malato		EE <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	LA	MO	Sin	Con		Ionóforo	Malato	I x M <sup>3</sup>
Orina, ml/día	319.2	325.6	341.3	303.6	59.6	0.916	0.537	0.741
N consumido, g/d	17.92	15.60	17.75	15.78	1.08	0.050	0.091	0.218
N excretado en heces, g/d	7.30	6.93	6.67	7.56	0.89	0.685	0.336	0.455
N excretado en orina, g/d	3.78	4.89	4.51	4.15	0.17	0.261	0.708	0.948
Balance de nitrógeno, g/d	6.84	3.78	6.56	4.06	1.44	0.053	0.106	0.601
N retenido, %	34.20	21.22	32.70	22.73	7.16	0.091	0.186	0.996
Digestibilidad aparente del N, %	58.81	55.35	62.37	51.79	4.99	0.499	0.052	0.733

<sup>1</sup>EE, error estándar de la media.

<sup>2</sup>P, probabilidad.

<sup>3</sup>interacción Ionóforo x malato.

## V. CONCLUSIONES

El consumo de materia seca fue menor con la ración que contenía monensina.

En la excreción de materia seca no hubo diferencias entre tratamientos aunque tendió a disminuir con las raciones que contenían malato.

En cuanto al consumo y la digestibilidad de la fibra esta se redujo en con la inclusión de monensina y malato. Aunque no presento diferencias significativas.

La digestibilidad y consumo de los carbohidratos estructurales no fue diferente entre tratamientos aunque la digestibilidad aumento cuando se incluyo en la ración lasalocida y malato.

Las actividades de masticación y rumia disminuyeron con la inclusión de monensina y malato no presentando diferencias entre tratamientos

En el caso del pH ruminal los valores fueron similares, lo que puede deberse a la inclusión del 50% de sorgo entero en la ración.

En la concentración de los AGVs no se observo un efecto del Ionoforo aunque con la inclusión del malato aumento un poco.

La cantidad de nitrógeno consumido no fue diferente entre tratamientos, aunque se vio un ligero aumento en los animales que consumieron la ración con monensina, el nitrógeno retenido fue menor en los corderos que consumieron lasalocida. La digestibilidad de este tendió a disminuir con la inclusión de malato.

El manejo alimenticio (programación de alimentación, tamaño de partícula de forrajes y granos, etc.) y aditivos no-nutritivos (ionoforos, malato de sodio, microbiales de uso directo, buffers, etc.) pueden ayudar a reducir la acidosis ruminal, sin embargo, en este estudio, mantener un alto consumo de alimento, sin bajar el pH ruminal, pudo lograrse con lasalocida sódica y la inclusión del 50% de grano entero. Con las raciones que contenían lasalocida sódica, el consumo de FDN fue mayor (de 2 a 3 veces mas) en comparación con raciones que contenían monensina sódica o malato de sodio. Esto parece ser debido a que del total del sorgo de la ración, el 50% era grano entero, lo que pudo haber estimulado una mayor rumia, y consecuentemente, más secreción de saliva, ayudando a amortiguar el pH ruminal. Un alto consumo de alimento significa más consumo de nutrientes y mayor retención de N. El balance de N fue mayor en corderos que consumieron las raciones con lasalocida sódica, aparentemente debido a un mayor consumo de proteína cruda.

## VI. LITERATURA CITADA

- AOAC. 1997. Official Methods of Analysis (16<sup>th</sup> Edición). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- Arteaga C.J: 1999. Problemática de la Ovinocultura en Mexico. Memorias del II Seminario de Ovinos de pelo. Tampico, Tamaulipas.
- Bartle, S. J., and R. L. Preston. 1991. Dietary roughage regimen for feedlot steers: Reduced roughage level (2%) during the mid-finishing period. *J. Anim. Sci.* 69:3461-3466.
- Berger, J., A. Rachlin, W.E. Scott, L.H. Sternback and M.W. Goldberg. 1951. The isolation of three new crystalline antibiotics from streptomyces. *J. Amer. Chem. Soc.* 73:5295.
- Bergen, W. G. and D. B. Bates. 1984. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* 58 (6):1465-1483.
- Bohman, V. R., F. P. Horn, B. A. Stewart, A. C. Mathers, and D. L. Grunes. 1983. Wheat pasture poisoning. I. An evaluation of cereal pastures as related to tetany in beef cows. *J. Anim. Sci.* 57:1352-1363.
- Callaway, T. R., and S. A. Martin. 1996. Effects of organic acid and monensin treatment on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation of cracked corn. *J. Anim. Sci.* 74:1982-1989.
- Chen, M., and M.J. Wolin. 1979. Effect of monensin and lasalocid-sodium on the growth of methanogenic and rumen saccharolytic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 38:72.
- Church, D. C. 1976. Bases científicas para la nutrición y alimentación de los animales domésticos. Acribia. Zaragoza, España.
- Consejo Norteamericano de granos forrajeros. 1994. Nuevos Métodos en el Manejo de Ovinos.
- Cruz, L. C. 1992. La producción de ovinos Pelibuey y sus perspectivas para el trópico. Memoria. Experiencias en la producción de Leche y carne en el

- tropical. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 163-185.
- Domesick E. J. and S. A. Martin 1999. Effects of Laidlomycin propionate and monensin on the in Vitro Mixed Ruminant Microorganism J. Anim Sci. 1999 77:2305-2312.
- FAO, 2002. FAOSTAT: Online FAO Statistical Database. www.fao.org. Food and Agriculture Organization, United Nations.
- Feed Additive Compendium. 2002. The Animal Health Institute. The Miller Publishing Company, Minnetonka, Minnesota, U.S.A.
- Fimbres, H., G. Hernández-Vidal, F.J. Picón, J.R. Kawas y C.D. Lu. 2002. Productive performance and carcass characteristics of lambs fed finishing ration containing various forage levels. Ruminant Research 43 (3): 275-281
- Fimbres, H., J.R. Kawas, G. Hernández-vidal, F.J. Picón y C.D. Lu. 2002. Nutrient intake, digestibility, mastication and ruminal fermentation of lambs fed finishing ration with various forage levels. Small Ruminant Research Small Ruminant Research 43 (3): 275-281.
- García R. 2003. Efecto de bicarbonato de sodio y levadura viva (*Sacharomyces cerevisiae*) en raciones para corderos, sobre el consumo, digestibilidad, parámetros ruminales y características de la canal. Tesis de doctorado. FMVZ, UANL. Monterrey Nuevo Leon.
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. Handbook N° 379. ARS, USDA, Washington, D. C.
- Goetsch, A. L. and M. L. Galyean. 1983. Influence of feeding frequency on passages of fluid and particulate markers in steers fed a concentrate diet. Can. J. Anim. Sci. 63:727-730
- Gonzalez Reyna Arnoldo. 1999. La reproducción de ovinos de pelo en las zonas tropicales de México. Rev. Biotam. 11(1-2):21-32
- Gottschalk, G. 1986. Bacterial Metabolism (2nd Ed.). Springer-Verlag, New York.

- Haney, M.E. Jr. And M.M. Hoehn. 1968. Monensin, a new biologically active compound. I. Discovery and isolation, p. 349. *Antimicrob. Agents. Chemother.*
- Harris, L. E. 1970. *Nutrition Research Techniques for domestic and Wild Animals.*  
Vol. I. An International Record System and Procedures for Analyzing  
Samples. Lorin E. Harris, Editor. Logan, Utah, U.S.A.
- Hemken, R. W. 1983. Importance of electrolytes for dairy cattle. *Proc. Buffers, Neutralizers and Electrolytes. Symp. West Des Moines, Iowa: National Feed Ingredients Association.*
- Hutchinson C.R. 1999. Commentary. Microbial polyketides synthase : more and more prolific. *ProC Natl. Acad. Sci. USA.* 96: 3336-3338
- INEGI. 2001. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Anuario Estadístico.* p. 174.
- Kawas, J. R. J. Lopes, D. L. Danelon and C. D. Lu. 1991. Influence of forage-to-concentrate ratios on intake, digestibility, chewing and milk production of dairy goats. *Small Ruminant research* 4:11-18.
- Kawas, J. R. 2002. *Engorda de corderos en corral.* Seminario de Postgrado. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, N.L.
- Kitame, F. y N. Ishida. 1976. The constitution of laidlomycin, a new antimycoplasmal antibiotic. *J. Antibiot.* 29:759.
- Kitame, F., K. Utushikawa, T. Kohama, T. Saito, M. Kikuchi and N. Ishida. 1974. Laidomycin, a new antimycoplasmal polyether antibiotic. *J. Antibiot.* 27:884.
- Kung, L., Jr., J. T. Huber, J. D. Krummrey, L. Allison, and R. M. Cook. 1982. Influence of adding malic acid to dairy cattle rations on milk production, rumen volatile fatty acids, digestibility, and nitrogen utilization. *J. Dairy Sci.* 65:1170-1174.
- Lehninger, A. L. 1975. *Biochemistry (2nd Ed.).* Worth Publishers, New York.
- Liu H.B. and Reynolds K.A. 1999. Role of crotonyl coenzyme A reductase in determining the ratio of polyketides monensin A and B produced by *Streptomyces cinnamonensis*. *J. Bacterial.* 181:6806-6813.

- Livas, C. F. 2000. CEIEGT. Universidad Nacional Autónoma de México. Memorias.
- Mason, I. L. 1999. World Dictionary of Livestock Breeds. Third Edition. C.A.B International.
- Martin, S. A., H. M. Sullivan, and J. D. Evans. 2000. Effect of sugars and malate on ruminal microorganisms. *J. Dairy Sci.* 83:2574-2579.
- Martin, S. A., and M. N. Streeter. 1995. Effect of malate on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation. *J. Anim. Sci.* 73:2141-2145.
- Martin, S. A., M. N. Streeter, D. J. Nisbet, G. M. Hill and S. E. Williams. 1999. Effects of malate on ruminal metabolism and performance of cattle fed high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 77:1008-1015.
- McDonald, R. A., J. F. D. Edwards, and C. A. Greenhalgh. 1995. Animal Nutrition. Quinta edición. Acribia, Zaragoza, España.
- Newbold, C. J., R. J. Wallace, X. B. Chen, and F. McIntosh. 1995. Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *J. Anim. Sci.* 73: 1811-1818.
- Nisbet, D. J., and S. A. Martin. 1990. Effect of dicarboxylic acids and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on lactate uptake by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:3515-3518.
- Nisbet, D. J., and S. A. Martin. 1991. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *J. Anim. Sci.* 69:4628.
- Nisbet, D. J., and S. A. Martin. 1993. Effects of fumarate, L-malate and an *Aspergillus oryzae* fermentation extract on D-lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Curr. Microbiol.* 26:133.
- Nisbet, D. J., and S. A. Martin. 1994. Factors affecting L-lactate utilization by *Selenomonas ruminantium*. *J. Anim. Sci.* 72:1365.
- NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Sixth Revised Edition). National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food Producing Animals. National Academy Press, Washington, D.C.

- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC, 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Sixth Revised Edition. National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C.
- Orskov, E. R., F. D. De Hovell y F. Mould. 1980. El uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de alimentos. *Prod. Anim. Trop.* 5:213-233.
- Owens, F.N. 1980. Ionophore effects on utilization and metabolism of nutrientes. *Proc. Georgia Nutrition Conference for the Feed Industry.* P. 17.
- Owens, F.N., D.S. Secrist, W.J.Hill, and D.R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: A Review. *J. Anim. Sci.* 76:275-286.
- Perez-Reyes, M. 2000. Relación sorgo entero:molido en raciones para ovinos en corral, sobre las actividades de masticación, pH y concentración de ácidos grasos volátiles. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Poos, M.I., T.L. Hanson, and T.J. Klopfenstein. 1979. Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. *J. Anim. Sci.* 46:1120.
- Prange, R.W., C.L. Davis, and J.H. Clark. 1978. Propionate production in the rumen of Holstein steers fed either a control or monensin supplemented diet. *J. Anim. Sci.* 46:1120.
- Pressman, B.C. 1976. Biological applications of ionophores. *Ann. Rev. Biochem.* 45:501.
- Pressman, B.C. 1980. Molecular and biological properties of ionophores. In: ACS Symposium Series No. 140, Inorganic Chemistry in Biology and Medicine, A.E. Martell (Eds.), pp. 1-22.
- Reffett-Stabe, J., J. N. Spears, R. W. Harvey, D. M. Lucas. 1989. Salinomycin and lasalocid effects on growth rate, mineral metabolism and ruminal fermentation in steers. *J. Anim. Sci.* 7: 2735-2742.

- SAGARPA. 2001. Dirección de desarrollo pecuario. Base de datos. [www.sagarpa.gob.mx/sagarpa3html](http://www.sagarpa.gob.mx/sagarpa3html).
- Sanson, D. W., and O. T. Stallop. 1984. Growth response and serum constituents of Holstein bulls fed malic acid. *Nutr. Rep. Int.* 30:1261-1267.
- SAS. 1990. SAS/STAT<sup>®</sup> User's Guide (Release 6.08). SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Shelling, G.T. 1984. Monensin mode of action in the rumen. *J. Anim. Sci.* 58:1518-1527.
- Spears, J. W. 1990. Ionophores and nutrient digestion and absorption in ruminants. *J. of Nutrition* 120:632-638.
- Spears, J. W., B. R. Schricker and Burns J. C. 1989. Influence of Lysocellin and Monensin on Mineral Metabolism of Steers Fed Forage-Based Diets. *J. Anim. Sci.* 67: 2140-2149.
- Sprott, L. R., T. B. Goehring, J. R. Beverly, and L. F. Corah. 1988. Effects of ionophores on cow herd production: a review. *J. Anim. Sci.* 66:1340-1346.
- The Merck Veterinary Manual. 1991. A handbook of diagnosis, therapy, and disease prevention and control for the veterinarian. Seventh Ed. Merck & CO., Inc., Rahway, N. J., U.S.A.
- Tilley, J. M., y R. A. Ferry. 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104-111.
- Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed. Cornell University. Cornell University Press.
- Westley, J. W. 1978. Polyether antibiotics: versatile carboxylic acid ionophores produced by *Streptomyces*. *Adv. in Appl. Microbiol.* 22:177.
- Westley, J. W. 1982. Notation and classification. Polyeter antibiotics. Naturally occurring acid ionophores. Vol I. Biology. Marcel Dekkerr, Inc., New York. p. 1-20.
- Whetstone, H. D., C. L. Davis, and M. P. Bryant. 1981. Effect of monensin on breakdown of protein by ruminal microorganisms in vitro. *J. Anim. Sci.* 53:803.

Yoon, I. K., and M. D. Stern. 1995. Influence of direct-fed microbials on ruminal microbial fermentation and performance of ruminants. A review. *Austral. Asian J. Anim. Sci.* 8:533-555.

# APENDICES

## APENDICE I

### Materiales:

- (1) 20 jaulas metabólicas para separación de heces y orina, en área con ventilación.
- (2) 20 borregos de aproximadamente 16 kg de peso vivo.
- (3) Cuatro alimentos experimentales (misma ración base).
- (4) 20 bolsas grandes para muestras de alimento rechazado.
- (5) 20 bolsas grandes para muestras de heces húmedas.
- (6) 20 frascos de plástico para muestras compuestas de alimento rechazado seco.
- (7) 20 frascos de plástico para muestras compuestas de heces secas.
- (8) Cuatro frascos de plástico para muestras compuestas de alimento seco y molido.
- (9) 20 envases de plástico de 2 litros para almacenar el 10% de orina excretada diariamente por cada animal.
- (10) 20 frascos de plástico/vidrio para muestras compuestas de orina.
- (11) 20 frascos de vidrio para muestras de líquido ruminal (medir pH antes de agregar solución).
- (12) Cien bolsas grandes de papel para secar las heces, y alimento ofrecido y rechazado.
- (13) Jeringa de 60 ml para extraer líquido ruminal.
- (14) Tres sondas estomacales suaves para extraer líquido ruminal.
- (15) Pedazo de manguera dura para introducir sonda estomacal, y evitar que el borrego muerda la sonda.
- (16) Potenciómetro y soluciones para estandarizar el potenciómetro (pH 4.0 y pH 7.0).
- (17) Solución para parar la fermentación después de medir el pH.
- (18) Tres estufas a 55° C para secar las heces húmedas, el alimento ofrecido y el rechazado.
- (19) Una estufa a 105° C para determinar humedad en muestras presecas.
- (20) Cromatógrafo de gases para determinar ácido grasos volátiles (AGV).
- (21) Block digestor y destilador de MicroKjeldahl para determinar nitrógeno (N) y proteína cruda (PC).
- (22) Unidad de reflujo para determinar fibras: FDN, contenido celular y Carbohidratos no estructurales [CNE = 100% - (%PC + %EE + %Cenizas + %FDN)].
- (23) Múfla para determinar cenizas a 500 C.
- (24) Dos disecadores de plástico.
- (25) Un molino Thomas Wiley para molienda de muestras: heces secas, y alimento ofrecido y rechazado.
- (26) Báscula de 120 kg para pesar los borregos con una precisión de  $\pm 200$  gramos.
- (27) Báscula para pesar alimento con una precisión de  $\pm 1$  gramos.

- (28) Balanza analítica de precisión, para pesar muestras para los análisis.
- (29) Probeta graduada de plástico de 1 litro para medir la orina.
- (30) Un congelador horizontal.
- (31) Formatos para registrar diariamente alimento consumido y rechazado.
- (32) Formatos para registrar diariamente las heces y orina excretadas.
- (33) Formatos para registrar las actividades de rumia y masticación.
- (34) Formatos para registrar los pesos iniciales y finales.
- (35) Formatos para registrar el pH y AGV (Acético, propiónico y butírico).

## APENDICE II

### Procedimientos:

#### I. Tiempo de rumia, consumo y masticación total.

- Durante 24 horas, cada 5 minutos (Comenzar a las 8:00 un día antes de iniciar el muestreo → 8:00 del primer día de muestreo).
- Usar formato anexo.
- Rumia (R), Consumo (C), y Otro (O).

#### II. Pesar borregos.

- Pesar a las 8:00 el día 1 de la etapa de muestreo (después de 14 días de adaptación a las raciones).
- Pesar a las 8:00 el día 7 de la etapa de muestreo.

#### III. Muestreo (De 8:00 del día 1, a las 8:00 del día 7).

##### (A) Heces Fecales - total de 20 muestras compuestas.

- Colección total de heces durante 7 días.
- Pesar heces frescas diariamente durante los 7 días (apuntar en hojas de registro) y acumular en bolsa grande de plástico, diariamente.
- Después de 7 días, sacar heces del congelador y dejar descongelar.
- Secar el total de heces - colocar en bolsa doble de papel a 55 C durante 4-5 días. Pesar las heces secas después de 24 horas a temperatura ambiente (temperatura de cuarto).
- Después de pesarlas, usar molino Wiley (criba de 1 o 2 mm) para moler el total de heces. Cuando el alimento es muy tosco, usar criba de 2 mm.
- Homogenizar el total de heces mezclando en una bolsa grande de plástico.
- Obtener una muestra de aproximadamente 100 gramos.
- Almacenar en bote de plástico (bote con identificación y fecha).

##### (B) Orina - total de 20 muestras.

- Pesar y registrar el peso de la orina excretada, diariamente.
- Colección del 10% de la orina excretada diariamente.
- Almacenar en envase de plástico de 2 litros diariamente, durante 7 días.
- Al final del período de muestreo, homogenizar y obtener muestra compuesta.
- Almacenar en frasco de vidrio, en congelador (-20 C).
- En bote escribir fecha e identificación.

**(C) Alimento rechazado** - total de 20 muestras.

- Pesar y registrar el peso del alimento rechazado, diariamente.
- Congelar diariamente el alimento rechazado en una bolsa de plástico identificada.
- Al final de 7 días del período de muestreo, homogenizar y colocar en bolsa doble de papel, el total de alimento rechazado.
- Secar en una estufa a 55 C, entre 24 y 48 horas.
- Pesar el alimento rechazado seco, después de sacarlo de la estufa (55 C) 24 horas a temperatura ambiente (temperatura de cuarto).
- Moler el total de alimento rechazado en un molino Wiley (asegurarse de incluir el material fibroso que queda en la cámara del molino, antes de homogenizar la muestra).
- Homogenizar el total de alimento rechazado.
- Almacenar una muestra compuesta en un bote identificado (con fecha), de plástico.
- Determinar humedad y materia seca a 105 C, para corregir los análisis que tengan que hacer de las muestras (proteína cruda, etc.).

**(D) Alimento Completo** - total de 4 muestras. ( 4 tratamientos)

- Secar el alimento durante 24-48 horas a 55 C (1 kg).
- Seguir el mismo procedimiento en moler, homogenizar, y almacenar.
- Pesar el alimento después de secar a 55 C, para obtener la muestra preseca (mínimo de 100 gramos).
- Una muestra compuesta por cada alimento.
- Determinar humedad y materia seca a 105 C, para corregir los análisis que tengan que hacer de las muestras (proteína cruda, etc.).

**(E) Líquido ruminal** - total de 8 muestras (a las 12:00 p.m. el último día de colección).

- Obtener muestra de fluido ruminal de cada borrego (60 ml).
- Usar jeringa y sonda estomacal para succionar y obtener el fluido ruminal.
- Medir 50 ml del fluido y almacenar en un frasco de vidrio.
- Primeramente, medir pH, de cada muestra (usar potenciómetro, estandarizando con soluciones de pH 4.0 y 7.0).
- Agregar solución para parar fermentación del fluido ruminal (1 ml).
- Almacenar en congelador a -20 C.
- Posteriormente, las muestras deben procesarse para determinación de AGV.