



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y
SERVICIO EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**USO DE MODIFICADORES DE LA FERMENTACIÓN
RUMINAL EN LA FINALIZACIÓN DE CORDEROS**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

MARIA ANGELICA ORTIZ HEREDIA



Bajo la supervisión de:

PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, Ph. D.

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



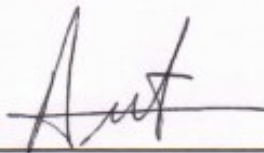
Chapingo, Estado de México, junio de 2017

USO DE MODIFICADORES DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL EN LA FINALIZACIÓN DE CORDEROS

Tesis realizada por **MARIA ANGELICA ORTIZ HEREDIA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: _____



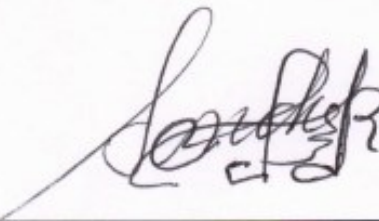
Ph. D. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: _____



Dr. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

ASESOR: _____



M.C. CARLOS SÁNCHEZ DEL REAL

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIBLIOGRÁFICOS	xi
1 DATOS GENERALES	xi
2 FORMACIÓN ACADÉMICA	xi
RESUMEN GENERAL	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Aspectos internacionales y nacionales de la producción ovina para carne	4
2.2 Ecosistema ruminal	5
2.2.1 Organismos de la fermentación ruminal	5
Bacterias	7
Protozoos	9
Hongos	10
2.2.2 Interrelaciones entre microorganismos	11
2.2.3 Fermentación ruminal de carbohidratos	12

2.2.4	Fermentación ruminal de proteínas.....	14
2.2.5	Eficiencia de síntesis de proteína microbiana	17
2.2.6	Efecto de la dieta sobre las poblaciones microbianas.....	18
2.3	Manipulación de la fermentación ruminal	18
2.3.1	Manipulación de la dieta	19
2.3.2	Manipulación del medio líquido ruminal	20
2.3.3	Manipulación de los microorganismos ruminales.....	20
2.4	Trastornos digestivos.....	22
2.4.1	Acidosis ruminal.....	23
2.4.2	Enterotoxemia.....	26
2.4.3	Cálculo urinario	27
2.4.4	Timpanismo	29
2.5	Modificadores de la fermentación ruminal	30
2.5.1	Aceites esenciales	31
2.5.2	Malato de sodio.....	33
2.5.3	Ionoforos	33
2.5.3.1	Monensina	34
2.5.3.2	Lasalocida.....	35
2.5.4	Mecanismos de acción de los ionóforos	35
2.6	Literatura Citada	38
	USO DE MODIFICADORES DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL EN LA FINALIZACIÓN DE CORDEROS	50

3.1	Resumen	50
3.2	Abstract	51
3.3	Introducción	52
3.4	Materiales y métodos.....	53
3.4.1	Ubicación geográfica y situación climática del sitio de estudio	53
3.4.2	Animales y tratamientos.....	54
3.4.3	Manejo, desempeño y digestibilidad aparente	55
3.4.4	Análisis de muestras y producción de gas <i>in vitro</i>	57
3.4.5	Actividad de masticación.....	58
3.4.6	Ácidos grasos volátiles (AGV's) y pH ruminal.....	58
3.4.7	Medición grasa dorsal.....	59
3.4.8	Análisis estadístico.....	59
3.5	Resultados y discusión	59
3.6	Conclusiones	69
3.7	Literatura citada	70
4	ANEXOS: PARTICIPACIONES COMO PONENTE EN CONGRESOS NACIONALES E INTERNACIONALES.....	80

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de las principales especies bacterianas del rumen según el tipo de sustrato que fermentan.....	8
Cuadro 2. Clasificación de los principales protozoos ruminales con los sustratos de fermentación preferentes.	10
Cuadro 3. Ingredientes y composición química de tratamientos.....	54
Cuadro 4 Comportamiento productivo de corderos finalizados con una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal. .	61
Cuadro 5. Consumo y digestibilidad de nutrientes de una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal en corderos de engorda.....	63
Cuadro 6 Parámetros de la fermentación <i>in vitro</i> (72 h) de una dieta para corderos en finalización complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal.	64
Cuadro 7 Perfil de ácidos grasos volátiles (AGVs) y pH del líquido ruminal de corderos finalizados con una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal.	67
Cuadro 8 Tiempos de consumo y actividad de masticación en corderos finalizados con una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la población ovina en México (Fuente: SAGARPA, 2014).....	4
Figura 2. Pasos de la fermentación ruminal de carbohidratos (Fuente: France y Siddons, 1993).....	14
Figura 3. Esquema de la degradación de la proteína en el rumen (Fuente: Wallace, 1996).....	16
Figura 4. Esquema de la acidosis ruminal	25
Figura 5. Efecto de la monensina (m) en el flujo de iones en <i>S. bovis</i> , (Russell, 1987).....	37

DEDICATORIAS

A mi hija Valentina por su amor, apoyo, confianza y admiración; por quien he logrado mis objetivos, por toda la alegría que me da.

A mis padres María del Rocío Heredia Tenorio y Felipe Ortiz Ramos por su amor, apoyo, confianza y consejos; porque gracias a ellos he logrado cumplir mis objetivos.

A mis hermanos Erika y Andrés por su apoyo y por darle tanta alegría a mi vida.

A mis sobrinos Juan Diego y Jesús Daniel por formar parte de mi vida y darme tanta alegría.

A mis cuñados Mirella y Miguel Ángel por su apoyo.

A mis familiares más cercanos porque siempre han estado al pendiente de mí, porque me han brindado su apoyo desinteresado.

Atentamente, Maria Angelica Ortiz Heredia

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal por mi formación académica

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para poder realizar mis estudios de posgrado y culminar la presente investigación.

Al *Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández*, por su amistad y por haber compartido su conocimiento y su valioso tiempo para poder llevar a cabo ésta investigación.

Al *M.C. Carlos Sánchez Del Real* y al *Dr. Luis Alberto Miranda Romero*, por sus acertadas observaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar y enriquecer esta investigación.

A *todos los maestros* que integran la comunidad del Posgrado en Producción Animal que de alguna manera contribuyeron en mi formación compartiendo sus valiosos conocimientos.

A la empresa NUTRYPLUS S.A.P.I DE C.V. por el apoyo económico para el desarrollo de esta investigación, en especial a la Ing. Laura Parra Morales y al MVZ Luis Morales García de León.

A mi amigo José Manuel, por enseñarme que el trabajo en equipo siempre será necesario, por su amistad y apoyo.

Con aprecio a Oscar por todo su apoyo, comprensión, consejos y por los momentos que hemos compartido.

A mis compañeros y amigos del Posgrado en Producción Animal: Verónica, Inés, Guadalupe, Daniela, Bricia, Marco, Pablo, Octavio, Juan Carlos, Luis Daniel, Santiago, Javier, Manuel, Gustavo, Adrián y de manera especial a Ubaldo por su apoyo, amistad y todos esos momentos que compartimos.

Al Patronato Universitario a través del *Ing. Oscar Almeraya* por las facilidades prestadas en el préstamo de corderos para la realización del presente estudio.

A los doctores *Mario A. Cobos*, *Said Cadena Villegas*, por su disposición y ayuda en esta investigación.

A Marciano Olguín; Paul Carrillo y Cesar Rodarte por su ayuda en la investigación en campo y en especial a Yonatan Cabanzo Suarez por todo su apoyo brindado.

A Laura, Carmen y Fabián, por su apoyo en el trabajo de laboratorio, y demás personas que contribuyeron a la realización de esta investigación.

Al Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia por el apoyo solicitado y brindado.

Atentamente, Maria Angelica Ortiz Heredia.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

1 DATOS GENERALES

Nombre: Maria Angelica Ortiz Heredia
Domicilio: Calle Córdoba No. 1, Santa Ana
Tlachiahualpa, Temascalapa, Estado de México,
CP: 5595
Lugar de Nacimiento: Santa Ana Tlachiahualpa,
Temascalapa, Estado de México
Fecha de Nacimiento: 16 de julio de 1988
Estado Civil: Soltera
CURP: OIHA880716MMCRRN02
Teléfono: (01) 596- 9335500
Celular: 045 55 4884 5600
Correo electrónico: heidi_1607@hotmail.com



2 FORMACIÓN ACADÉMICA

BACHILLERATO	Julio 2006	CBT “José Antonio Alzate”, Temascalapa, Estado de México. <i>Carrera Técnica:</i> Técnico Laboratorista Químico
LICENCIATURA	Julio 2012	Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México. <i>Título:</i> Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia. <i>Tesis:</i> Comportamiento en la finalización de corderos incluyendo harina de nopal y ensilado de nopal-tuna en la dieta.

DIPLOMADO	Abril 2013	Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET, UNAM), y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
		<i>Diploma:</i> Gestión de la Innovación en el Sector Agroalimentario.
MAESTRIA CIENCIAS	EN Diciembre 2016	Posgrado en Producción Animal, Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera

Ponente en los congresos

III Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas, Chapingo, México, del 22 al 24 de abril de 2015.

XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Sochipa. A.G. Puerto Varas, Chile, del 9- 13 noviembre 2015 –

IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas, Chapingo, México, del 20 al 22 de abril de 2016.

VIII Reunión Nacional sobre Agro y Silvopastoriles, Chapingo, México, 24- 26 de agosto de 2016.

XLIII Reunión de Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, San Luis Potosí, México, 4-6 octubre de 2016

XXV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XI Congreso Nordeste de Producción Animal, Penambuco, Recife, Brasil, del 7 al 10 de noviembre 2016.

RESUMEN GENERAL

Uso de modificadores de la fermentación ruminal en la finalización de corderos.

Los modificadores de la fermentación ruminal pueden favorecer una menor pérdida de energía del alimento ofrecido a corderos en finalización. El objetivo del estudio fue analizar el comportamiento productivo y atributos nutricionales de corderos en finalización al agregar tres modificadores de la fermentación ruminal para validar la adición de los mismos. Por lo que se usaron 35 corderos (20 hembras y 15 machos) Pelibuey (23.6 kg $\pm$ 3.2) de 4 meses de edad, distribuidos en un diseño de bloques completos al azar, para evaluar cinco dietas: testigo sin modificador, con monensina sódica (25 g t⁻¹); con malato de calcio (2.5 kg t⁻¹), con aceites esenciales (150 g t⁻¹); y, con aceites esenciales (150 g t⁻¹) más monensina sódica (25 g t⁻¹). El consumo de alimento por cordero, la ganancia diaria de peso, grosor de grasa dorsal, área del ojo de la costilla, consumo de nutrientes, pH ruminal y tiempo de masticación fueron similares ($p \geq 0.05$) entre las dietas. La eficiencia alimenticia fue máxima ($p \leq 0.05$) con aceites esenciales, 19 y 24% superior a la testigo y con monensina, respectivamente. El consumo en g/kg^{0.75} fue máximo con malato de calcio, 23% superior al de dietas con aceites esenciales y monensina. La dieta testigo mostró la menor ($p \leq 0.05$) digestibilidad de la materia seca y perfil de producción de gas *in vitro* en relación a las otras dietas; y con tendencia ($p = 0.056$) a menor digestibilidad de la proteína cruda. La proporción de ácido acético en rumen fue 6% mayor en las dietas con aceites esenciales en comparación a la testigo; mientras que en la de ácido propiónico, la adición de aceites esenciales ocasionó una disminución. Se concluye que el comportamiento productivo de corderos en finalización fue similar entre los modificadores ruminales aceites esenciales, malato de calcio y monensina sódica.

Palabras clave: modificadores, fermentación, aceites esenciales, malato de calcio, monensina.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal,
Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Maria Angelica Ortiz Heredia
Director de Tesis: Pedro Arturo Martínez Hernández

ABSTRACT

Use of rumen fermentation modifiers in the fattening of lambs

Rumen fermentation modifiers could reduce energy loss from feed given to fattening lambs. The study aimed to analyze lamb performance and nutritive attributes in finalization when three rumen fermentation modifiers were added to the same diet to evaluate them. Thirty-five (20 female and 15 male) four-month Pelibuey lambs ($23.6 \pm 3.2\text{kg}$), were distributed in a complete block design to evaluate five diets: control, without modifiers; monensin (25 g t^{-1}); calcium malate (2.5 kg t^{-1}); essential oils (150 g t^{-1}); and, essential oils (150 g t^{-1}) plus monensin (25 g t^{-1}). Feed intake, average daily gain, fat thickness, rib eye area, nutrient intake; rumen pH, and chewing time were similar ($p \geq 0.05$) among diets. The highest feed efficiency ($p \leq 0.05$) was obtained with essential oils, 19 and 24% above control and monensin, respectively. The highest ($p \leq 0.05$) feed intake on $\text{g/kg}^{0.75}$ was registered for calcium malate, 23% above essential oils and monensin. Control diet had the lowest ($p \leq 0.05$) dry matter digestibility and *in vitro* gas production pattern; and a trend ($p = 0.056$) for the lowest crude protein digestibility. Rumen acetic acid proportion was 6% greater than essential oils than that in control diet; meanwhile, propionic acid proportion decreased. It was concluded that lamb performance in finalization was similar regardless the rumen modifiers added (essential oils, calcium malate and monensin).

Key words: modifiers, fermentation, essential oils, calcium malate, monensin.

Thesis of Master in Science in Livestock Innovation, Postgraduate in Animal Production, Chapingo University.

Author: Maria Angelica Ortiz Heredia

Thesis Director: Pedro Arturo Martínez Hernández

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México existen diversos sistemas de producción de ovinos, los sistemas extensivos, basados en el pastoreo con mínimo uso de suplementos, donde no se lleva ningún tipo de control zootécnico, hasta sistemas intensivos, donde los corderos son engordados con dietas basadas en granos (Mendoza, Plata, Ramírez, Mejia, Lee, & Bárcena, 2007).

En las explotaciones ovinas destinadas a la producción de corderos para el abasto, la tasa de crecimiento y el tiempo requerido del nacimiento al peso de venta es importante en la eficiencia productiva y económica de las mismas. Sobre todo, por las implicaciones que tiene en la economía del productor. A éste le es importante que el crecimiento sea rápido y eficiente a fin de que sus costos sean menores por conceptos de mantenimiento y de permanencia en la explotación, por ello se han implementado nuevas tecnologías como el uso de aditivos y promotores del crecimiento (Murguía, Pacheco, & Castellanos, 2003).

Se ha incrementado la finalización de corderos con alimentos concentrados (concentrados integrales), con los que aumenta el riesgo de que se presenten problemas metabólicos como la acidosis subaguda y la presencia de cálculos urinarios (Mendoza et al., 2007).

Durante mucho tiempo se han utilizado aditivos antibióticos en dietas para rumiantes como una estrategia más para manipular el ecosistema microbiano ruminal, a fin de optimizar la digestión y la utilización de los nutrientes (Carberry, Kenny, Kelly, & Waters, 2014). La manipulación del rumen se puede hacer mediante sustancias que alteren el ambiente del rumen (buffers o tampones), modifiquen la actividad metabólica y proporción de ciertos microorganismos (ionóforos), mejoren el ambiente ruminal (cultivos microbianos), o incrementen la utilización de los alimentos (enzimas) (Rodríguez Pinos & González Muñoz, 2000).

Los aditivos en la alimentación de rumiantes son sustancias que no aportan nutrimentos específicos: energía, proteína o minerales, eventualmente se ofrecen en la dieta de los rumiantes para mejorar la eficiencia de uso de la misma, entre otros aspectos, a través de reducir trastornos digestivos, reducir pérdidas de energía en los procesos metabólicos microbianos y favorecer poblaciones microbianas eficientes. Las cantidades añadidas de los aditivos son siempre muy pequeñas, expresadas en partes por millón. La diferencia en la eficiencia se puede reflejar en mejorías en la ganancia de peso, conversión alimenticia y consumo, con reducción en la incidencia de trastornos de la salud, principalmente de origen digestivo y metabólico (Guzmán, 2004).

Los modificadores de la fermentación ruminal son aditivos encaminados a promover una fermentación más eficiente, al reducir la liberación de compuestos como el metano, que impliquen una reducción en el uso de la energía presente en la dieta consumida alta en grano (Gonzales Momita, 2004). En general, esta fermentación más eficiente se logra mediante la modificación en la proporción de poblaciones microbianas por la adición de antibióticos, aceites esenciales o sustancias amortiguadoras o buffer.

A pesar de que algunos antibióticos como la monensina sódica mejoran la eficiencia de la fermentación ruminal, el futuro de su uso diario y extendido es riesgoso ante la política de eliminar los antibióticos en la alimentación de los animales destinados a consumo humano. Ante esta situación, la investigación debe de proveer y validar opciones distintas a los antibióticos que permitan mejorar la eficiencia de la fermentación ruminal a un nivel igual o superior al logrado con los antibióticos. Entre estas opciones están los aceites esenciales (Gonzales Momita, 2004).

Por lo tanto, el objetivo del estudio fue analizar el comportamiento productivo y algunos atributos nutricionales de corderos en finalización al incorporar a la dieta diferentes modificadores de la fermentación ruminal (monensina sódica, malato

de calcio y aceites esenciales (MixOil), para generar información que permita la validación del uso de los mismos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos internacionales y nacionales de la producción ovina para carne

A nivel mundial, la carne de ovino ocupa el cuarto lugar de consumo como fuente de proteína animal, aportando 5% del consumo mundial de cárnicos excluyendo pescado (FAO 2013). En año 2013 el inventario mundial de ovinos se estimó en 1,080 millones de cabezas, con un rendimiento de 8.5 millones de toneladas de carne en canal de las que 9% se destinaron al comercio internacional (FAO, 2013). El inventario ovino de México registrado en 2014 fue 8 576 908 cabezas (SAGARPA, 2014), 71 % del mismo se localizó en 10 de las 32 entidades federativas a su vez las entidades de México e Hidalgo concentraron 30% del inventario nacional (Figura 1). La alta concentración de la población ovina indica que la producción ovina no es de importancia nacional con base a su distribución, sino que responde a otros factores.

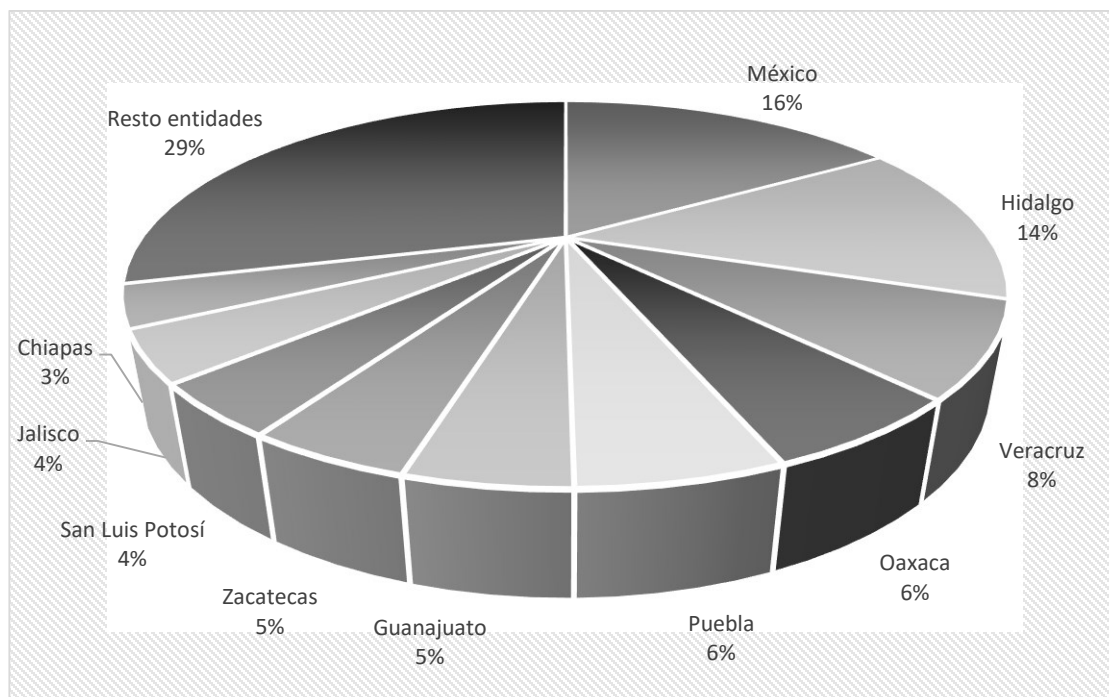


Figura 1. Distribución de la población ovina en México (Fuente: SAGARPA, 2014).

La producción nacional de carne en canal durante el año 2014 fue de 114 168 toneladas, con un precio estimado en poco más de 212.5 millones de dólares estadounidenses (SAGARPA, 2014). Esta producción cubrió el 70% del consumo nacional aparente, estimado 80,780 toneladas de carne en canal y el 30% restante fue cubierto con importaciones de Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos.

La concentración del inventario ovino indica que la producción ovina no se distribuye en toda la superficie nacional; la importancia nacional de la producción ovina radica en que la producción nacional no cubre la demanda nacional, originando la salida del país de divisas y un balance deficitario en este sector ganadero (SAGARPA, 2014).

2.2 Ecosistema ruminal

Los rumiantes presentan particularidades distintivas en relación con el resto de los mamíferos, porque el rumen y el retículo, dos de los compartimientos pre-estomacales, se encuentran habitados por una de las más variadas, densas y activas poblaciones microbianas conocidas en la naturaleza (protozoos, bacterias y hongos), que desempeñan un papel significativo en la degradación del alimento que consumen los animales (Carrillo-Díaz et al., 2015). El rumen constituye una ventaja evolutiva importante porque permite al animal el consumo de alimentos fibrosos y de NNP (Carrillo-Díaz et al., 2015).

2.2.1 Organismos de la fermentación ruminal

El rumen es el sitio donde se lleva a cabo la fermentación del alimento que es ingerido por el animal. Cabe señalar que el rumen no es un órgano glandular por lo que no secreta enzimas digestivas de manera que la actividad digestiva depende de las enzimas producidas por las bacterias, protozoarios y hongos (Mendoza et al., 2007).

La fermentación ruminal es una fermentación anaeróbica mayormente realizada por bacterias dentro del rumen. El rumen es una cámara de fermentación anaeróbica. La población microbiana se mantiene al ingerir y masticar alimentos con regularidad, añadiendo tampones y eliminando los ácidos producidos, arrastrando los residuos alimenticios no digeribles y los productos microbianos, y manteniendo unas condiciones apropiadas de pH, temperatura y humedad para el crecimiento microbiano (Piñero-Vázquez, Oliva-Hernández, & Hinojosa-Cuéllar, 2009).

Los valores de pH, las concentraciones de amonio, así como las de ácidos grasos volátiles en el líquido ruminal, pueden determinar la adecuada utilización de los nutrientes de diferentes alimentos. Estos indicadores pueden señalar la capacidad de un alimento para atender a los requerimientos de nutrientes del animal y de los microorganismos (Piñero-Vázquez et al., 2009).

De la fermentación ruminal, el rumiante obtiene ácidos grasos volátiles (AGV's) que son fuente de energía, otros productos de la fermentación como el metano no son aprovechados y constituyen rutas que reducen la eficiencia de la fermentación ruminal por lo que se considera conveniente recurrir a tecnologías que limiten la formación de este tipo de productos (Owens & Goetsch, 1986).

La conformación de la población bacteriana es uno de los componentes principales que definirá el patrón de la fermentación ruminal en el sentido de la producción de AGV's y de otros productos que limitan la eficiencia de la fermentación. A su vez la población bacteriana puede ser manipulada a través del alimento y aditivos que se agreguen al alimento. Además de las bacterias en el rumen existen protozoarios y hongos que pueden influir en el patrón de la fermentación ruminal. A continuación se describen aspectos de los microorganismos presentes en el rumen. (Ørskov, 1992).

Bacterias

La población de bacterias en el rumen fluctúa de 10^{10} a 10^{11} bacterias/g de contenido ruminal, se agrupan en 63 especies pertenecientes a 32 géneros, considerando frecuencia y actividad fermentativa sobresalen 28 especies de 16 géneros (Yokohama & Johnson, 1988). Las bacterias conforman la mitad de la biomasa ruminal, son las que realizan la fermentación ruminal y su capacidad fermentativa está en relación inversa a su tamaño (Ørskov, 1992).

Las bacterias ruminales se clasifican con base al tipo de sustrato que fermentan preferencialmente, productos formados o requerimientos nutricionales. Por sustrato fermentado preferencialmente las bacterias pueden ser: celulolíticas (celulosa); proteolíticas (proteína), hemicelulolíticas (hemicelulosa), ejemplos dentro de cada una de estas categorías se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de las principales especies bacterianas del rumen según el tipo de sustrato que fermentan.

Principales especies celulolíticas	Principales especies proteolíticas
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	<i>Ruminobacter amylophilus</i>
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	<i>Prevotella ruminicola</i>
<i>Ruminococcus albus</i>	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>
<i>Ruminococcus fibrisolvens</i>	<i>Streptococcus bovis</i>
Principales especies hemicelulolíticas	Principales especies utilizadoras de lípidos
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Anaerovibrio lipolytica</i>
<i>Prevotella ruminicola</i>	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>
<i>Ruminococcus spp.</i>	<i>Treponema bryantii</i>
Principales especies pectinolíticas	<i>Eubacterium spp.</i>
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Fusocillus spp.</i>
<i>Prevotella ruminicola</i>	<i>Micrococcus spp.</i>
<i>Lachnospira multiparus</i>	Principales especies productoras de metano
<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>	<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>
<i>Treponema bryantii</i>	<i>Methanobacterium formicicum</i>
<i>Streptococcus bovis</i>	<i>Methanomicrobium mobile</i>
Principales especies amilolíticas	Principales especies productoras de amoníaco
<i>Ruminobacter amylophilus</i>	<i>Prevotella ruminicola</i>
<i>Streptococcus bovis</i>	<i>Megasphaera elsdenii</i>
<i>Succinomonas amylolytica</i>	<i>Selenomonas ruminantium</i>
<i>Prevotella ruminicola</i>	Principales especies ureolíticas
Principales especies utilizadoras de azúcares	<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>
<i>Treponema bryantii</i>	<i>Selenomonas spp.</i>
<i>Lactobacillus vitulinus</i>	<i>Prevotella ruminicola</i>
<i>Lactobacillus ruminus</i>	<i>Ruminococcus bromii</i>
Principales especies utilizadoras de ácidos	<i>Butyrivibrio spp.</i>
<i>Megasphaera elsdenii</i>	<i>Treponema spp.</i>
<i>Selenomonas ruminantium</i>	

Fuente: Adaptado de Yokohama y Johnson (1988).

En la clasificación de las bacterias por producto formado sobresalen las categorías de productoras de metano (metanogénicas) y de amoníaco (amoniogénicas) según se señala en el Cuadro 1.

Además del sustrato preferido, la mayoría de las bacterias puede fermentar otros sustratos, por ejemplo 38% de las bacterias ruminales tiene capacidad proteolítica, o sea, fermentan proteínas (Yokohama & Johnson, 1988). La capacidad de fermentar otros sustratos además del de mayor afinidad, permite una mayor eficiencia en la fermentación ruminal de lo ingerido por el rumiante. Por tanto, entre más diversa sea la población microbiana del rumen podrá asegurarse una tasa de fermentación estable con menor presencia de picos en la liberación de productos de la fermentación (Yokohama & Johnson, 1988).

Otra clasificación de la población bacteriana del rumen, es en función de la fase a la que se adhieren dentro del rumen. Aproximadamente 75% de las bacterias se adhieren a la fase física que es la superficie de las partículas de lo ingerido por el rumiante, estas bacterias fermentan la mayor parte de la ingesta física (Ørskov, 1992); un segundo grupo se ubica en la fase líquida, son bacterias que se han soltado de las partículas con una tasa alta de división y subsisten a de los nutrientes solubles presentes en el líquido ruminal. El tercer grupo de bacterias son anaeróbicas facultativas adheridas al epitelio ruminal, consumen rápidamente el oxígeno que entra con la ingesta y agua, pueden fermentar células epiteliales sin intervenir activamente en la fermentación de la ingesta, tienen gran actividad proteolítica y ureolítica, mediante la cual intervienen en el reciclaje de urea proveniente del torrente sanguíneo (Cheng & Costerton, 1980).

Protozoos

Los protozoos son el grupo microbiano cuyo papel benéfico hacia el rumiante no siempre ha sido comprobado. La población de protozoos varía de 10^5 - 10^6 células/ml de contenido ruminal. La mayoría de los protozoos son ciliados, de las subclases *Entodiniomorfa*, y *Holotrica* (Hungate, 1966) (Cuadro 2). Los protozoos

pueden no estar presentes en el rumen o contribuir con 2% del peso del contenido ruminal, 40% del nitrógeno microbiano total y hasta 60% de los productos de fermentación microbiana. Sin embargo, la contribución al flujo duodenal es mínima debido a una generación lenta sumada a una retención alta en rumen por adherirse a las partículas de lo ingerido y en el caso de los holotricos, su adhesión a la pared reticular durante los intervalos entre comidas (Abe et al., 1981).

Los protozoos son parte de la población microbiana y tienen un papel importante en la fermentación; sin embargo, el beneficio que aportan al rumiante ha sido puesto en duda. Rumiantes defaunados (sin protozoos) no siempre han registrado una digestibilidad y comportamiento productivo diferente al de rumiantes faunados (con protozoos). A los protozoos se les ha identificado como estabilizadores de la fermentación, evitando fluctuaciones amplias principalmente del pH en los intervalos entre comidas (Ørskov, 1992).

Cuadro 2. Clasificación de los principales protozoos ruminales con los sustratos de fermentación preferentes.

Subclase	Género	Sustrato fermentado
<i>Holotrica</i>		
	<i>Isotrica</i>	<i>Almidón y azúcares</i>
	<i>Dasytrica</i>	<i>Almidón y azúcares</i>
<i>Entodiniomorfa</i>		
	<i>Entodinium</i>	<i>Almidón</i>
	<i>Epidinium</i>	<i>Almidón y hemicelulosa</i>
	<i>Ophryoscolex</i>	<i>Almidón</i>
	<i>Diplodinium</i>	<i>Celulosa</i>
	<i>Eudiplodinium</i>	<i>Celulosa</i>
	<i>Polyplastron</i>	<i>Celulosa</i>

Fuente: Adaptado de Hungate (1966).

Hongos

La presencia en rumen de hongos fue registrada en la década de 1970's. La fase móvil o zoosporo de los hongos era identificada como un protozoo flagelado, y la fase vegetativa o esporangio, siempre adherida a las partículas de fibra, no era

identificada (Ørskov, 1992). Los géneros más frecuentes en el rumen son *Neocallimastix*, *Caecomyces*, *Pyromyces* y *Orpinomyces* (Van Soest, 1982).

Los hongos no abundan en el rumen por su tiempo largo para la generación en comparación con las bacterias, 6-9 vs. 0.5 - 3.5 h, y su paso a duodeno, aunque no ha sido estimado, también debe ser muy bajo (Varga et al., 1998). En dietas ricas en forraje pueden aportar 8% de la masa microbiana, pero en las ricas en concentrado o forrajes de muy alta calidad el aporte es menor (Orpin, 1981). Tienen actividad celulolítica y hemilolítica pero no pueden degradar la pectina y el ácido poligalacturónico (Fonty & Joblin, 1991). No hay evidencia de que degraden la lignina, pero sus rizoides la pueden penetrar y facilitar la degradación de la pared celular (Van Soest, 1982).

2.2.2 Interrelaciones entre microorganismos

Las bacterias, protozoos y hongos ruminales interaccionan dentro del rumen, esta interacción puede maximizar la eficiencia de la fermentación ruminal de lo ingerido (Van Soest, 1982). Estos microorganismos pueden agruparse en los fermentadores de la ingesta y los fermentadores de los productos derivados de la fermentación realizada por el primer grupo, evitando que estos productos se acumulen en el rumen y se conviertan en una realimentación negativa del primer grupo, además liberan al ambiente ruminal compuestos promotores al crecimiento de los fermentadores de la ingesta (Ørskov, 1992).

Los cultivos puros de microorganismos ruminales generan productos finales que no se detectan en cultivos mixtos, esto debido a la interacción mencionada anteriormente. Un ejemplo de esta interacción entre microorganismos es la de los ácidos grasos volátiles de cadena ramificada (AGVR), que son producidos por microorganismos amilolíticos y usados por microorganismos celulíticos para sintetizar aminoácidos o ácidos grasos de cadena larga (Ørskov, 1992).

2.2.3 Fermentación ruminal de carbohidratos

Los carbohidratos comúnmente presentes en la ingesta del rumiante son moléculas grandes e insolubles que deben ser convertidas a moléculas simples de menor tamaño para que atraviesen la membrana mucosa del tracto digestivo y llegar a la sangre (McDonald et al., 1995). Los carbohidratos del tejido vegetal consumido por el rumiante se agrupan en carbohidratos estructurales y no-estructurales. Los estructurales son referidos como fibra y no son degradados por las enzimas producidas por la mayoría de los mamíferos, los rumiantes desarrollaron un proceso digestivo que incorpora la fermentación ruminal que es un producto de la simbiosis con microorganismos capaces de reducir estos carbohidratos estructurales a través de la fermentación de los mismos (Owens y Goetsch, 1986).

La fermentación ruminal de los carbohidratos (estructurales y no estructurales) se inicia con la adhesión y colonización microbiana de la superficie externa de las partículas vegetales ingeridas (Russell & Hespell, 1981). La fermentación de los carbohidratos estructurales es a través de la acción de las enzimas celulasas y hemicelulasas que hidrolizan enlaces β -glucosídicos hasta generar hexosas y pentosas. Mientras que para la fermentación de los no estructurales, principalmente almidón y azúcares simples, son hidrolizados por amilasas, maltasas, maltosa fosforilasa y 1,6 -glucosidasas hasta generar hexosas.

De las hexosas y pentosas generadas de la hidrólisis de los carbohidratos se continúa la fermentación intracelular a través de la ruta de Embden-Meyerhof para llegar a piruvato y de éste a la formación de AGV's como acetato, propionato y butirato (France & Siddons, 1993).

Las bacterias celulolíticas utilizan mayoritariamente la vía metabólica piruvato - formatoliasa para producir acetato. Esta vía metabólica produce la decarboxilación del piruvato y da origen a la formación de Acetil- CoA y formato. El formato es transformado en CO₂ y H₂ precursores del metano, que se libera al

exterior a través del eructo, la liberación del metano, es por tanto, una reducción en la eficiencia del uso de la energía, pero se logra acetato que es el principal precursor en la síntesis de grasa en la leche (Bondi, 1989; France & Siddons, 1993).

Los almidones y azúcares simples se fermentan hasta producir propionato, en este proceso no existen pérdidas de carbonos, por lo que el proceso es energéticamente más eficiente que la fermentación de los carbohidratos estructurales que lleva a la formación de acetato (Van Soest, 1982).

Los AGV's también referidos como ácidos grasos de cadena corta (Bergman, 1990), son los productos principales de la fermentación ruminal de los carbohidratos, contienen de 1 a 7 átomos de carbono, pueden ser de cadena lineal como el acético, propiónico, butírico y valérico, o como cadena ramificada como el isobutírico, isovalérico, 2-metil butírico (Fahey & Berger, 1993).

La concentración ruminal de AGV's en un momento dado es resultado del balance entre producción y absorción de los mismos, el intervalo más común de la concentración ruminal es de 70 a 130 mM (30 mM como mínimo y 200 mM como máximo). La proporción de AGV's presentes en el rumen depende del tipo de carbohidrato fermentado, las especies bacterianas y de condiciones del ambiente ruminal (Fahey & Berger, 1993; Nocek & Tamminga, 1991). De los AGV's producidos en el rumen 88% se absorbe de forma pasiva a través de la pared ruminal y 12% pasa al omaso y abomaso Bergman (1990). Los AGV's representan 50 a 70% de la energía digestible ingerida (France & Siddons, 1993).

En la Figura 2 se muestra de forma simplificada algunos pasos del proceso de la fermentación ruminal de algunos tipos de carbohidratos, en este proceso de fermentación es importante resaltar la formación y posterior liberación al ambiente del metano como consecuencia de la fermentación de carbohidratos estructurales como la celulosa.

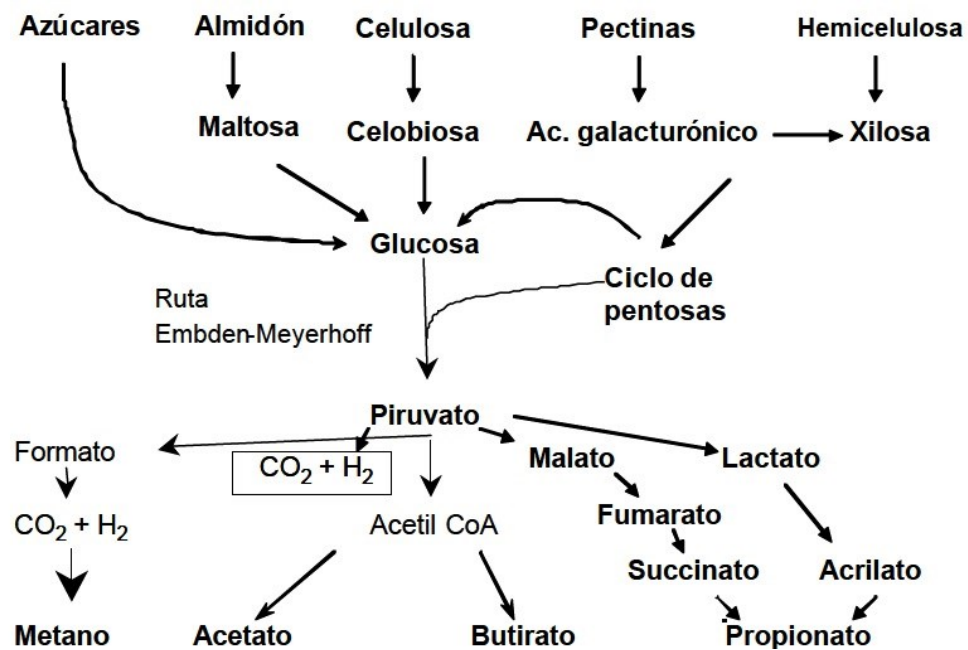


Figura 2. Pasos de la fermentación ruminal de carbohidratos (Fuente: France & Siddons, 1993).

2.2.4 Fermentación ruminal de proteínas

Las proteínas están constituidas por amino ácidos (AA) unidos mediante enlaces peptídicos entre el grupo carboxílico de un AA y el grupo amino de otro AA. Van Soest et al. (1981) señalan que la proteína bruta puede comprender tres fracciones: nitrógeno no proteico (NNP), proteína verdadera y nitrógeno no degradable. Nolan (1993) indica que hay tres vías de suministro de proteína al rumen: proteína de la dieta, proteína proveniente de la descamación de células

epiteliales y el NNP endógeno provenientes de la saliva o a través de la pared ruminal.

Las bacterias son las principales fermentadoras de las proteínas, los protozoos y hongos también desarrollan cierta actividad proteolítica (Broderick et al., 1991; Wallace & Cotta, 1988). Entre 30 y 50% de los microorganismos ruminales que se adhieren a las partículas de la ingesta tienen actividad proteolítica extracelular (Prins et al., 1983). Los géneros de bacterias con actividad proteolítica se identifican en el Cuadro 1, a estos se agregan *Selonomonas* spp. y *Eubacterias* spp. (Cotta & Hespell, 1986), estos géneros son proteolíticos, pero no todos usan los productos finales para su crecimiento, por ejemplo, *Ruminobacter amylophylus* degrada la matriz proteica de los gránulos de almidón del endospermo del maíz pero no usa los péptidos ni los amino ácidos resultantes de la degradación (Jenkinson et al., 1979).

Una vez la ingesta en el rumen hay una colonización por bacterias, protozoos y hongos ruminales proteolíticos (Nolan, 1993). Las proteasas bacterianas extracelulares periplasmáticas forman un complejo enzima-sustrato para potencializar su actividad (Wallace, 1985). Los protozoos tienen actividad proteolítica diez veces menor que las bacterias (Forsberg et al., 1984), pero son más eficaces degradando proteína insoluble que soluble (Jouany, 1996).

Los polipéptidos resultantes de la proteólisis inicial son degradados a péptidos por acción de peptidasas (Cotta & Hespell, 1986), posteriormente estos péptidos serán degradados de forma secuencial a unidades más simples para facilitar la acción de otras enzimas entre ellas las aminopeptidasas de origen bacteriano, dipeptidil-peptidasas y las di- y las tripeptidasas (Wallace, 1996).

Protozoos ruminales del género *Entodinium* desempeñan una actividad dipeptidasa extracelular, sin embargo, en rumen defaunado (sin protozoos) esta actividad es retomada por bacterias que ocupan el nicho ecológico que dejan los

protozoos y el resultado final es que no existe efecto alguno en la fermentación de proteínas al defaunar el rumen (Wallace & Cotta, 1988).

En la Figura 3 se presenta un esquema con los principales pasos en el proceso de la fermentación ruminal de proteínas, en esto se debe resaltar que la fermentación implica llegar a nitrógeno en forma de amina para de ahí iniciar el proceso de síntesis de proteína por bacterias y protozoos.

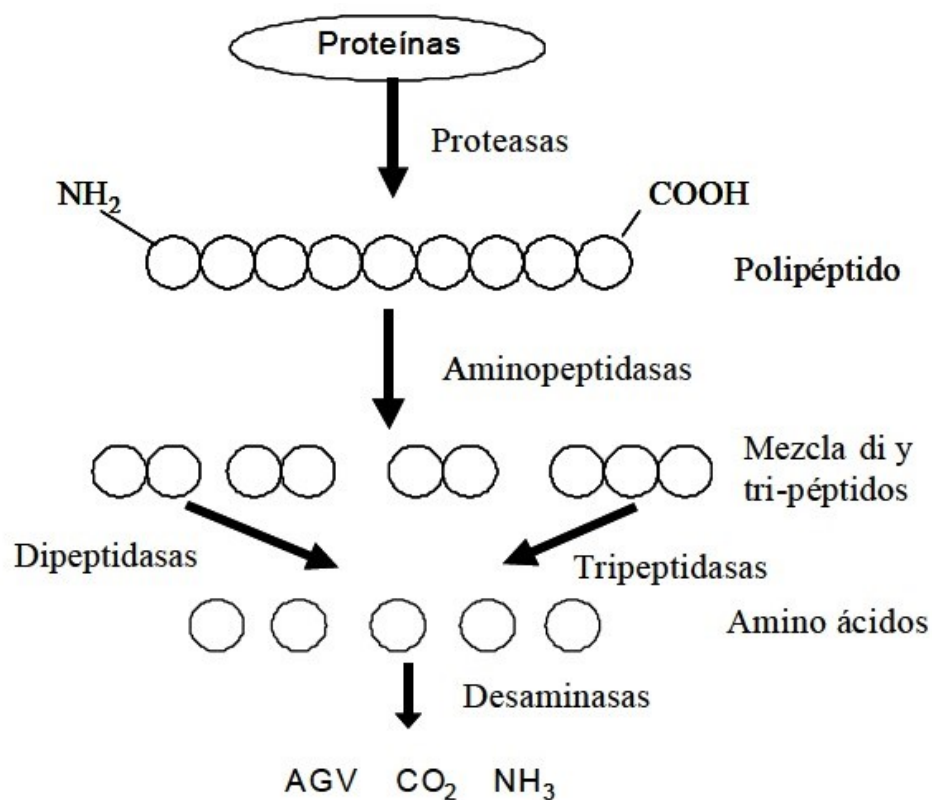


Figura 3. Esquema de la degradación de la proteína en el rumen (Fuente: Wallace, 1996).

La actividad dipeptidasa extracelular libera péptidos cortos (2 a 3 AA) directamente al medio ruminal, aportando AA para las bacterias carentes de actividad proteolítica (Cotta & Hespell, 1986). La acumulación de péptidos en el rumen depende, por un lado, de la actividad proteolítica y, por otro, del ritmo de

degradación extracelular y la absorción de péptidos por las poblaciones microbianas (Nolan, 1993). Algunos estudios observaron que los microorganismos ruminales absorben rápidamente los péptidos cortos y los incorporan al contenido celular con mayor eficiencia que los AA individuales (Prins et al., 1983), probablemente debido a la mayor eficiencia energética que supone el transporte de péptidos al interior de la célula que de los AA individuales (Payne, 1983).

2.2.5 Eficiencia de síntesis de proteína microbiana

En condiciones normales, la energía es el principal factor que limita el crecimiento de las bacterias ruminales (Nolan, 1993; Stern & Hoover, 1979). La fermentación ruminal tiene un rendimiento energético bajo, ya que la oxidación del substrato es incompleta, produciéndose de 4 a 5 moles de ATP por cada mol de glucosa fermentada (Beever, 1993), frente a los 38 moles de ATP que se liberarían si la reacción se realizase en aerobiosis (Murray et al., 1993). La síntesis de proteína microbiana requiere, además, de un adecuado suministro de nitrógeno para alcanzar la máxima eficiencia. Si el nivel de nitrógeno es bajo, el proceso de utilización de energía se desacopla produciéndose la fermentación con producción de calor, pero sin síntesis de ATP. Por el contrario, si el nivel de N es excesivo, el amoníaco se absorbe y la energía se convierte en el factor limitante para una utilización eficiente del N (Owens & Zinn, 1988).

La ESPM es la cantidad de proteína microbiana sintetizada por unidad de energía disponible en el rumen y se expresa como gramos de N microbiano sintetizado por kilogramo de materia orgánica verdaderamente fermentada (**MOVF**) en el rumen (g N bacteriano/Kg MOVF). Stern y Hoover (1979) indicaron que se producen entre 11 y 49 g N bacteriano por cada Kg de MOVF. Esta variabilidad se atribuye al pH ruminal, el ritmo de paso (Russell, 1998; Shriver et al., 1986), el tipo de dieta, el nivel de ingestión, el tamaño de partícula, la calidad del forraje, la relación de forraje: concentrado, y a la metodología analítica utilizada, entre otras (Hoover & Stokes. 1991).

2.2.6 Efecto de la dieta sobre las poblaciones microbianas

La dieta es el factor más determinante sobre el tipo y las proporciones de poblaciones microbianas, por lo que determina el perfil de fermentación ruminal (Yokohama & Johnson, 1988). Las diferencias son máximas entre dietas forrajeras y las ricas en concentrado. Las dietas forrajeras favorecen el establecimiento de una flora fibrolítica, donde predominan bacterias del género *Butyrivibrio* spp. Mientras que, en dietas ricas en concentrado con bajos niveles de fibra, la concentración bacteriana es mayor, con poblaciones amilolíticas donde predominan bacterias del tipo selenomonas, peptostreptococci y lactobacilli (McAllister et al., 1993). Estas dietas suelen tener altas velocidades de digestión y de producción de ácidos, por lo que el medio se acidifica y se reducen las poblaciones celulolíticas y metanogénicas que son más sensibles al pH ácido (Van Soest, 1982).

Ante un cambio de dieta, la población tiene que adaptarse hacia un nuevo equilibrio. El mayor riesgo se produce al introducir grandes cantidades de concentrado en animales que reciben una dieta forrajera, por su efecto sobre las bacterias que producen y utilizan lactato. En un primer momento, por efecto de un descenso en el pH, desaparecen las bacterias utilizadoras de lactato y las amilolíticas son sustituidas por otras bacterias productoras de lactato, llevando a un descenso de pH más grave, y una acidosis láctica. Pero al adaptarse, las poblaciones formadoras de lactato y las utilizadoras se equilibran y prácticamente no se detecta ácido láctico en el contenido ruminal (Dehority & Orpin, 1988).

2.3 Manipulación de la fermentación ruminal

Durante muchos años se ha investigado en las posibilidades de modificar la fermentación ruminal con el objetivo de mejorar la productividad animal (Van Nevel & Demeyer, 1988). La producción óptima del animal sólo puede lograrse cuando la fermentación microbiana ruminal y la síntesis de proteína microbiana en el rumen son óptimas. Una ración equilibrada para los microorganismos

resultará en una eficacia máxima, pero si falta algún nutriente, el crecimiento microbiano no será óptimo y disminuirá la cantidad de proteína que llegue al intestino delgado (Hoover & Stokes, 1991; Stern & Hoover, 1979).

Existen numerosos estudios que describen los factores que pueden afectar a la fermentación ruminal y la síntesis de proteína microbiana (Dewhurst et al., 2000; Hespell & Bryant, 1979; Stern & Hoover, 1979). Estos factores suponen oportunidades para la manipulación de la fermentación ruminal. A efectos prácticos, dichos factores se pueden agrupar en tres áreas importantes:

1. Manipulación de la dieta
2. Manipulación del medio líquido ruminal
3. Manipulación de los microorganismos ruminales

2.3.1 Manipulación de la dieta

La disponibilidad de energía y proteína para las bacterias son los factores más limitantes para la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Hoover & Stokes, 1991; Stern & Hoover, 1979). Los microorganismos ruminales requieren de manera simultánea energía (ATP) y nitrógeno (en forma de amoníaco, péptidos y AA) para su crecimiento, por lo que un aporte sincronizado de energía fermentable y proteína se traduce en una mejor utilización de los nutrientes en el rumen y un mayor flujo de proteína microbiana al duodeno (NRC, 2001; Russell & Strobel, 1988). Es importante considerar que la ESPM aumenta un 50% cuando la cantidad de carbohidratos no fibrosos en la ración aumenta de 25 a 37% (Hoover & Stokes, 1991). Existe mucha información de diversos tratamientos físicos y químicos que han permitido modificar la fermentabilidad de los nutrientes de la dieta con el fin de aumentar o disminuir la disponibilidad de nutrientes en el rumen y/o en el intestino delgado (Nocek & Tamminga, 1991; Owens & Zinn, 1988). Entre los métodos físicos aplicados a los alimentos están el triturado, aplastado, extrusionado, partido, molido, peletizado, entre otros (Nocek & Tamminga, 1991). El uso de calor y la hidratación estarían dentro de los procesos físico-químicos (Hale, 1973; Theurer, 1986). Asimismo, se han utilizado

sustancias químicas como el formaldehído, taninos y amonio entre otros (Fluharty & Loerch, 1989; Nocek & Tamminga, 1991; Owens & Zinn, 1988).

2.3.2 Manipulación del medio líquido ruminal

La modificación de los parámetros físico-químicos del rumen permite manipular la fermentación ruminal. Por ejemplo, la digestibilidad de la fibra se ve reducida cuando el pH ruminal es igual o menor a 6.0 (Erfle et al., 1982; Calsamiglia et al., 2002; Cardozo et al., 2000 y 2002; Mould & Ørskov, 1983; Stewart, 1977). Las bacterias celulolíticas (*Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens*, *R. albus*, y *Butyrivibrio fibrosolvens*) son muy sensibles a la reducción del pH ruminal (Russell & Dombroski, 1980; Russell, 1998; Russell & Wilson, 1996; Strobel y Russell, 1986). Sin embargo, las bacterias amilolíticas (*Bacteroides amylophilus*, *Streptococcus bovis*, *Succinomonas amylolytica*, *Bacteroides ruminicola*) son mucho más resistentes a dicha reducción de pH (Russell, 1991; Russell & Wilson, 1996; Yokoyama & Johnson, 1988). Además, la reducción del pH ruminal afecta al metabolismo del rumen (Sauvant et al., 1999; Slyter, 1976), a la velocidad de crecimiento microbiano (Hoover et al., 1984; Hoover, 1986), a la producción y proporción de AGV (Calsamiglia et al., 2002; Cardozo et al., 2000 y 2002; Mould & Ørskov, 1983 y 1984; Russell, 1998) y a la degradación de la fibra y la proteína (Erfle et al., 1982).

2.3.3 Manipulación de los microorganismos ruminales

Una de las estrategias para manipular la fermentación ruminal consiste en modificar la población microbiana para suprimir procesos no deseados, como la pérdida de energía en forma de metano o CO₂ (Czerkawski, 1976), y de proteína en forma de amonio (Nolan, 1975). Durante muchos años se han estudiado los efectos de los protozoos ruminales sobre el sistema ruminal (Dehority, 1993; Williams & Coleman, 1988). El impacto de la presencia o ausencia de protozoos en el rumen está en función del tipo de dieta y de los protozoos predominantes (Nagaraja et al., 1992). Algunos estudios de defaunación de protozoos ruminales

resultaron en un descenso en la degradación de la proteína y la concentración de péptidos y AA en el rumen (Ivan et al., 1991; Ivan et al., 2000; Van Nevel & Demeyer, 1988). Asimismo, los protozoos fagocitan bacterias como fuente principal de nitrógeno y la ausencia de éstos incrementa el número de bacterias y la producción de AGV totales en el rumen (Van Nevel & Demeyer, 1988; Williams & Coleman, 1988), e incrementa el flujo de proteína bacteriana y la ESPM (Koenig et al., 2000).

El empleo de probióticos (cultivos simples o mezclados de microorganismos vivos; Fuller, 1989). Puede estimular su crecimiento de algunos grupos bacterianos. Algunos estudios señalan que los probióticos pueden eliminar oxígeno del medio ruminal, equilibrando el pH y estimulando el crecimiento bacteriano ruminal (Callaway, 1997; Erasmus et al., 1992; Kung et al., 1997).

El uso de algunos ácidos orgánicos en dietas para rumiantes también puede ejercer efectos positivos sobre la actividad de los microorganismos ruminales (Carro et al., 1999; Scott, 1998). Nisbet y Martín (1991) observaron que la adición de fumarato y malato estimularon el crecimiento de *Selonomonas ruminantium* en condiciones *in vitro*. Dichas bacterias pueden utilizar ácido láctico como fuente de energía (Stewart y Bryant, 1988) y producir mayoritariamente propionato por la vía del succinato (Wolin y Miller, 1988). El uso de fumarato y malato en las raciones de los animales podría disminuir las concentraciones de ácido láctico en el rumen y así evitar los descensos acusados de pH (Callaway & Martin, 1996; López et al., 1999; Martin y Streeter, 1995; Martín et al., 1999; Montaña et al., 1999).

La utilización de monensina (antibiótico ionóforo carboxílico) ha permitido manipular la fermentación ruminal. Su capacidad de introducirse entre la bicapa lipídica de los microorganismos le permite actuar como transportador transmembrana, intercambiando cationes monovalentes del líquido citoplasmático con el medio extracelular provocando la disminución del pH citoplasmático y la pérdida del gradiente electroquímico de la membrana (Bergen

& Bates, 1984). Los efectos más sobresalientes de la monensina a nivel ruminal son:

- La disminución de la degradación de la proteína en el rumen (Bergen & Bates, 1989).
- La inhibición de las bacterias desaminadoras gram-positivas (Yang & Russell, 1993) y por consiguiente la disminución de la concentración de amoníaco (Dinus et al, 1976).
- La disminución de la producción de AGV ramificados en el rumen (Hino y Russell, 1985).
- La disminución de pérdidas energéticas en forma de metano (Slyter, 1979).
- La reducción de la actividad fribolítica (Russell & Strobel, 1988).
- La disminución de lactato y el mantenimiento del pH ruminal (Nagaraja et al., 1982).
- El aumento de propionato (Schelling, 1984).

2.4 Trastornos digestivos

Los trastornos digestivos son una alteración como consecuencia de cambios en la dieta o por la presencia de sustancia no deseadas, que produce un desequilibrio en la población microbiana ruminal que conduce a la aparición de alteraciones patológicas (Duffield, Merrill, & Bagg, 2015).

La estrategia alimentaria de los rumiantes se basa en la simbiosis establecida entre los microorganismos ruminales y el animal. Mientras el rumiante aporta alimentos y las condiciones adecuadas del medio (temperatura, acidez, anaerobiosis, ambiente reductor), las bacterias utilizan parcialmente los alimentos haciendo útiles los forrajes (de otra forma indigestibles para los mamíferos) y aportando productos de la fermentación con valor nutritivo para el rumiante (los ácidos grasos volátiles) y la proteína microbiana, cuando existe una alteración en esta simbiosis aparecen los trastornos digestivos (Duffield et al., 2015).

2.4.1 Acidosis ruminal

Cuando el rumiante consume raciones con elevadas cantidades de cereales u otras fuentes de carbohidratos fácilmente fermentables, y limitadas cantidades de alimentos fibrosos (paja), el pH ruminal puede descender por debajo de los valores fisiológicos (Nordlund, 2003; Owens et al., 1998; Slyter, 1976), produciéndose acidosis.

La acidosis es un proceso derivado de la acumulación de AGV y ácido láctico en el rumen (Nocek, 1997; Owens & Goetsch, 1988; Slyter, 1976) y supone una disminución del álcali (base) en relación al contenido de ácido (iones hidrógeno). Se caracteriza por un aumento de la concentración de H^+ , en primer lugar en el rumen y, en estado más avanzado, en los distintos fluidos corporales.

El pH ruminal representa un balance de las concentraciones relativas de bases, ácidos y sustancias tampón, siendo la base primordial el amonio. Los tampones primarios son el bicarbonato y el fosfato. Aproximadamente 50% del bicarbonato que entra al rumen proviene de la saliva, durante el consumo de alimento y la rumia, la otra mitad entra al rumen por el intercambio de ácidos ionizados que llegan a ser absorbidos. Las fuentes de bicarbonato de la dieta o de la saliva ayudan a aumentar el pH ruminal, estimulando la utilización del lactato (Owens et al., 1998).

La acumulación de lactato provoca una disminución del pH por debajo de 6.0 y, si persiste por periodos de tiempo prolongados, causa acidosis ruminal, lo que provoca una serie de alteraciones microbianas y fisiológicas que culminan en una reducción de la ganancia de peso de animales en cebo, debido al inconsistente consumo de alimento, diarrea y úlceras ruminales (Nocek, 1997).

El pH en el rumen varía de 5.0 a 7.2, dependiendo del tipo de ración y del manejo de la alimentación (Owens & Goetsch, 1988). Los rumiantes que consumen forrajes como ración base mantienen un pH de 6.8, mientras que los que consumen concentrados tienen un pH de 5.8 o menor (Church, 1993).

Se distinguen dos formas de acidosis: la aguda y la crónica (Nocek, 1997; Stone, 2004). La acidosis aguda recibe el nombre de acidosis láctica, debido al papel que juega el ácido láctico en el proceso patológico (Elam, 1976) y se caracteriza por la rápida reducción del pH ruminal $\leq 5,0$ (Hibbard et al., 1995). Esta forma de acidosis es consecuencia del consumo de grandes cantidades de carbohidratos rápidamente fermentables. También ocurre cuando hay un cambio brusco de una ración rica en forraje a otra rica en concentrados (Owens et al., 1998). Sauvante et al. (1999) observaron un descenso acusado del pH ruminal en animales que consumieron el alimento con avidez, ingiriendo una gran cantidad de alimento en poco tiempo. El diagnóstico de la acidosis aguda tiene lugar cuando se determina un pH sanguíneo inferior a 7.35, aunque muchas veces se utilizan como indicadores otros síntomas clínicos en el animal, como puede ser: pH ruminal bajo (≤ 5.2), anorexia, oscilaciones en la ingestión de alimentos, diarrea y letargia del animal (Owens et al., 1998)

La acidosis subclínica (crónica) es la consecuencia de periodos transitorios y repetidos de pH ruminal moderadamente bajo ≤ 5.6 (Nocek, 1997), que no son suficientes para desencadenar la sintomatología clínica de la acidosis aguda (Calsamiglia et al., 2002). Sin embargo, la ingestión de alimento y la producción de los animales se reducen y/o son irregulares (Owens et al., 1998). El pH ruminal varía mucho a lo largo del día y refleja la mayor o menor concentración de ácidos en el rumen, que está relacionada directamente con los carbohidratos que se fermentan en el rumen después de cada comida. El desarrollo de la acidosis láctica sigue una trayectoria espiral con retroalimentación positiva (Figura 4), de tal manera que, si persiste el aporte de carbohidratos, la sucesión de eventos da lugar a una acidosis metabólica (Nocek, 1997).

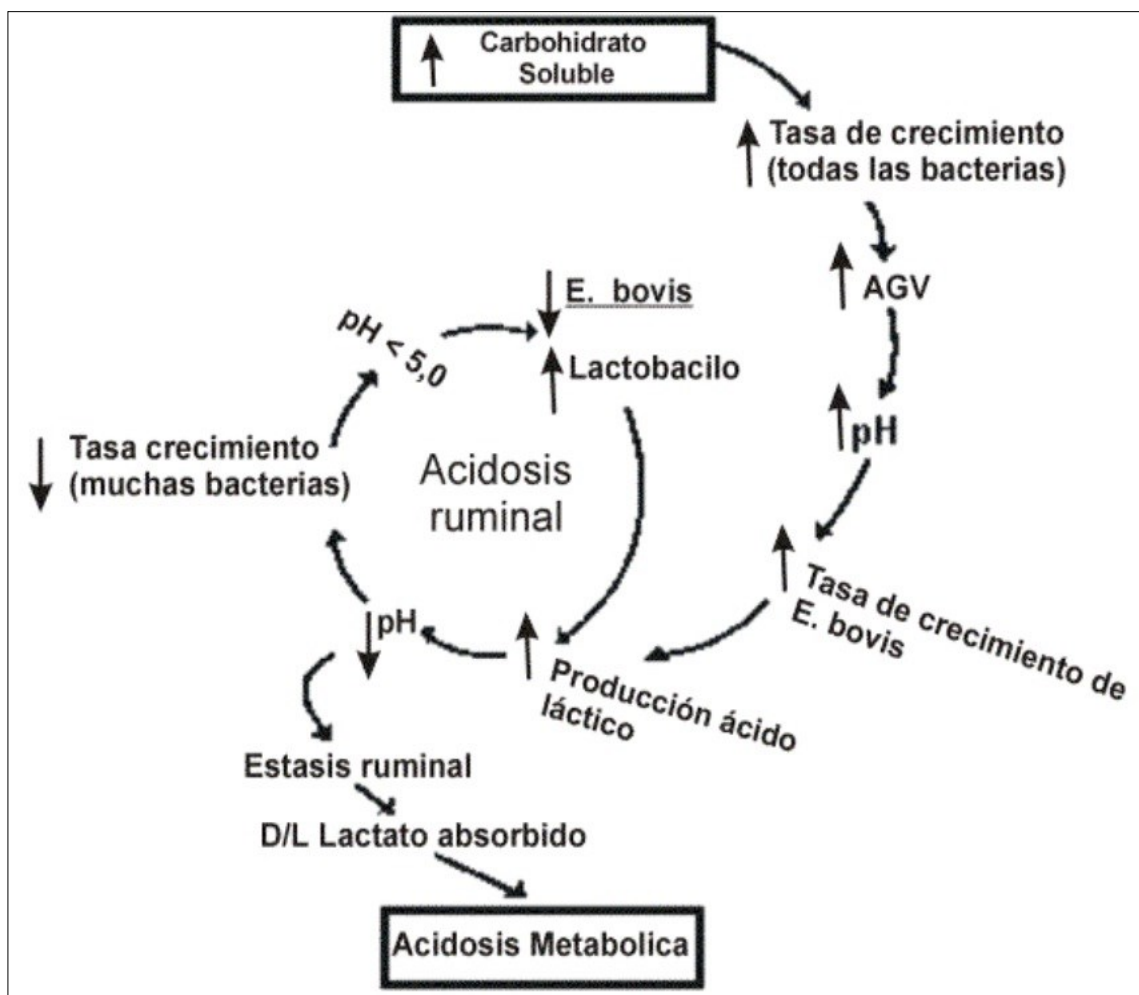


Figura 4. Esquema de la acidosis ruminal: Fuente: Nocek (1997)

El pH del rumen es un parámetro físico-químico esencial en la digestión y la nutrición, asociándose un pH bajo con una serie de desórdenes de tipo nutritivo y patológico (Sauvant et al., 1999). La reducción del pH está determinada por la capacidad de fermentación de la ración, la frecuencia de administración del alimento y/o la adición de sustancias tampón (Mould & Ørskov, 1984). La participación del almidón en la acido-génesis ruminal depende de la cantidad del mismo en la ración, teniendo una especial importancia su velocidad de degradación, independientemente del porcentaje. En este sentido, Sauvant et al. (1999) observaron una relación directa entre la velocidad de degradación del almidón y la disminución de pH en rumen. La cantidad total de carbohidratos

rápidamente fermentables ingeridos es, probablemente, más importante que el porcentaje de los carbohidratos en la dieta (Oetzel, 2003).

Para prevenir o controlar la acidosis, Calsamiglia et al., 2002, recomiendan algunas estrategias relacionadas con el manejo de la alimentación y la formulación de raciones:

- Controlar la velocidad de generación de ácido, teniendo en cuenta el nivel y la velocidad de degradación del almidón a la hora de formular piensos.
- Favorecer la rumia, con el suministro de FND forrajera adecuada, cuidando el tamaño de la partícula.
- Equilibrar las raciones para optimizar la síntesis de proteína microbiana.
- Utilizar con preferencia ingredientes con una capacidad tamponante elevada.
- Adaptar la micro-flora ruminal a la producción de ácido para desarrollar la población utilizadora de láctico y estimular su absorción.

La adaptación a raciones con una elevada proporción de concentrados tiene dos componentes: 1) Un componente microbiano, relacionado con el equilibrio entre las bacterias utilizadoras y productoras de ácido láctico, y 2) El desarrollo de las papilas ruminales (Oetzel, 2003) ya que un aumento en la longitud proporcionaría una mayor superficie de absorción de AGV, lo que conllevaría al mantenimiento del pH dentro de un rango óptimo.

2.4.2 Enterotoxemia

Gonzales Momita (2004) señala que las enterotoxemias son afecciones no contagiosas, de curso agudo, de naturaleza enzoótica y provocado por la acumulación en la sangre de una cantidad excesiva de toxinas bacterianas, como consecuencia de una insuficiencia total o parcial de los órganos encargados de eliminarlas o transformarlas. El mismo autor indica que la causa de estas enfermedades son diversos gérmenes anaerobios, esporulados, *Clostridium* (Cl.) *perfringens* o *Cl. welchii* es el que mayores pérdidas económicas produce en la finalización de corderos.

Para presentarse la enfermedad es necesario la influencia de una causa estresante y/o factores predisponentes como: sobrealimentación con dietas muy proteicas, alimentos fríos y/o húmedos, tiempo frío, cambio brusco de dieta, desequilibrio alimenticio, etc, que provocan la rotura del equilibrio existente en la flora intestinal, dejando al germen causal en óptimas condiciones para el desarrollo masivo de cepas y la consiguiente producción de grandes cantidades de toxinas, que provocan un aumento de la permeabilidad de la pared intestinal, y llegan al torrente circulatorio para producir una intoxicación general. En los corderos en finalización las principales causas predisponentes son la falta de fibra y el exceso de energía en las raciones alimenticias (Morris & Fernández-Miyakawa, 2009).

Las enterotoxemias ovinas están presentes en todos los países de ganadería ovina bien desarrollada, selecta y cuidada, y se presentan preferentemente en primavera y otoño en rebaños en régimen de pastoreo extensivo, y en invierno en las explotaciones en estabulación permanente, afectando especialmente a los animales jóvenes, más gordos y más glotones. En rebaños que pastan en zonas agrícolas de cereales, aparece con frecuencia en verano, al entrar los animales a pastar la rastrojera.

2.4.3 Cálculo urinario

El cálculo urinario ocurre en machos en corrales de engorda, con el uso de granos y en consecuencia un aporte alto de fósforo en la dieta y un aporte deficiente de agua (Carrillo-Díaz et al., 2015).

Los cambios en el pH de la orina y el exceso de fósforo determinan la formación de cálculos (urolitos) de fosfatos en la orina, la mayoría de las veces los cálculos obstruyen la uretra en su porción extrapeniana, prolongación uretral o apéndice vermiforme (Carrillo-Díaz et al., 2015). Los animales no pueden orinar, pujan, se encorvan y solo escurren gotas de orina enrojecidas por la presencia de sangre.

En casos crónicos puede aparecer edema en el forro y la parte baja del abdomen. Si estos corderos no son atendidos, sufren uremia obstructiva, con depresión y muerte, ocasionalmente la muerte ocurre de repente, por la rotura de la vejiga y la peritonitis consecuente. A la necropsia la vejiga y los uréteres aparecen notablemente distendidos y al corte la pared vesical se presenta necrótica, acartonada. En animales con rotura de vejiga es notoria la presencia de orina en la cavidad abdominal. Al realizar la necropsia frecuentemente se aprecia el olor amoniacal del cadáver, condición que impide el uso de la carne para consumo humano (Haven, Boman, Engelbert, & Blikslager, 1993).

Los animales afectados deben ser examinados de inmediato, se sientan y se extrae el pene empujándolo, si el cálculo obstruye la uretra extrapeniana esta se presenta dilatada, enrojecida, muchas veces hemorrágica y ocasionalmente ya gangrenada, en estos casos simplemente se corta la uretra por detrás de la obstrucción para liberar la salida de orina, aún en machos reproductores esta amputación no tiene consecuencias reproductivas. Si el cálculo no es observable para practicar esta amputación, es recomendable sacrificar al animal para poder aprovechar su carne (Carrillo-Díaz et al., 2015).

Para evitar este cuadro es necesario asegurar fuentes permanentes de agua a los animales e incrementar el aporte de calcio a la dieta, suplementando con carbonato de calcio los concentrados. También se recomiendan los antisépticos urinarios, ya que los cálculos se organizan en torno a restos de materia orgánica, generalmente fragmentos necróticos de tejido producto de afecciones inaparentes. Una medida práctica es que los animales dispongan de saleros con sal común, cloruro de sodio, mezclado con el carbonato de calcio, de esta forma consumen el carbonato y la sal e incrementan el consumo de agua, evitando la formación de cálculos (Haven et al., 1993).

2.4.4 Timpanismo

El Timpanismo, meteorismo, meteorización, o timpanitis son términos usados indistintamente para denominar un desorden de los animales rumiantes causado por la excesiva retención de los gases de la fermentación microbiana, provocando una distensión anormal en el retículo-rumen (Duffield et al., 2015).

La producción de gas en el retículo-rumen es constante y abundante, y su eliminación mediante la eructación se realiza, en general, sin problemas. La composición de la mezcla gaseosa presente en el rumen es aproximadamente del 65% de CO₂, 27% de CH₄, 7% de N₂, 0,6% de O₂, 0,2% de H₂ y 0,01% de H₂S (Duffield et al., 2015). La propia fermentación microbiana del rumen da lugar como productos finales ácidos grasos volátiles (AGV), gases (CO₂ y CH₄), calor y energía bajo forma de adenosín trifosfato (ATP), por lo que es la propia fermentación la principal responsable de la producción gaseosa del rumen. El exceso de poder reductor generado durante la conversión de una hexosa a acetato o butirato es utilizado, en parte, durante la formación del propionato pero, sobre todo, para la conversión a metano (Gonzalez-Momita et al., 2009). Las bacterias metanogénicas como *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum* o *Methanomicrobium mobile*, presentes en el rumen utilizan el H₂ para reducir el CO₂ a metano y así obtener ATP (Duffield et al., 2015).

La importante pérdida energética en el proceso fermentativo que se realiza en el rumen, explica que se hayan buscado y se busquen vías directas o indirectas para reducir la abundante producción de gas. Entre las vías directas se encuentran el uso de ionóforos, de análogos metano-halogenados y de ácidos grasos insaturados. Entre las indirectas, merece ser mencionada la de promover rutas metabólicas alternativas que utilicen el poder reductor generado en el rumen, compitiendo así con la metanogénesis por la captación de H₂. En este sentido podemos mencionar los trabajos que han ensayado el uso de los ácidos

dicarboxílicos o de sus sales, como es el caso del ácido málico (Martin, Streeter, Nisbet, Hill, & Williams, 1999) o del fumárico (López et al., 1999).

La desestabilización de las poblaciones microbianas, provocada por la ingestión de grandes cantidades de cereales de alta fermentabilidad, es otra de las causas que se asocian a la aparición de timpanismo en los rumiantes. El incremento de poblaciones de *Streptococcus bovis* ha sido observado en rumiantes con timpanismo (Rodríguez Pinos & González Muñoz, 2000). La excesiva producción de mucopolisacáridos bacterianos por parte de este tipo de bacterias, relacionada directamente con la cantidad de energía disponible, hace incrementar la viscosidad del líquido ruminal y estabilizar la espuma implicada en la aparición de timpanismo (Duffield et al., 2015).

2.5 Modificadores de la fermentación ruminal

Los modificadores de la fermentación ruminal son un tipo de aditivos que se agregan a la dieta (Tabla 2), los aditivos en la alimentación animal son usados para alcanzar diferentes mejoras, entre ellas incrementar la apetecibilidad de las materias primas y piensos, prevenir ciertas enfermedades, modificar y optimizar la utilización de los nutrientes en el rumen, o estimular la síntesis de proteína microbiana. Bajo el término aditivo se incluyen sustancias tan diversas como las vitaminas, provitaminas, minerales, antioxidantes, emulsionantes, saborizantes, coccidiostáticos y agentes promotores del crecimiento como los antibióticos, prebióticos y enzimas, entre otros (Chalupa; 1988; Van Nevel & Demeyer, 1988).

Dentro del grupo de los aditivos antibióticos están aquellos que se utilizan como promotores del crecimiento (APC), y que también son denominados "modificadores de la fermentación ruminal" (Van Nevel & Demeyer, 1988). Los APC se clasifican en antibióticos de tipo ionóforos (monensina sódica, lasalocida, salinomycin, etc.), los de tipo no ionóforos (tilosina, virginiamicina, espiromicina, flavofosfolipol, y bacitracina de zinc), inhibidores de la producción de metano, estimuladores de la producción de propionato (monensina, avoparcina),

estabilizadores del pH, inhibidores de proteasas/desaminasas, y agentes defaunadores, entre otros (Chalupa, 1988; Van Nevel & Demeyer, 1988).

Los APC contribuyen de modo importante en la productividad de las explotaciones y, por ello, son los más utilizados en alimentación animal. Los efectos prácticos más sobresalientes en rumiantes tras la suplementación de APC (Bergen & Bates, 1984; Chalupa, 1980; Phipps et al., 2000; Ruiz et al., 2001; Yang & Russell, 1993) fueron:

- Mejora de la digestibilidad de los alimentos.
- Reducción de la movilización de grasa corporal.
- Reducción del contenido graso de la leche.
- Aumento de producción de propionato.
- Reducción de producción de proteína microbiana ruminal.
- Aumento de retención de nitrógeno.
- Aumento del contenido en proteína de la leche.
- Aumento de producción de leche y del contenido en lactosa.
- Reducción *in vivo* e *in vitro* de la producción de metano.

El uso inadecuado y a veces indiscriminado de antibióticos en los piensos ha generado un aumento de la resistencia de las bacterias y otros organismos patógenos a estos antibióticos, provocando así una reducción en la eficacia de estos productos para combatir enfermedades (Kamel, 2001).

2.5.1 Aceites esenciales

Los aceites esenciales son componentes secundarios de las plantas, generalmente de naturaleza volátil (Gershenzon, 1991; Greathed, 2003; Simon, 1990). El término esencial deriva de la palabra “esencia”, lo cual significa que se puede oler o degustar (Burt, 2004). Se caracterizan de acuerdo a sus multitudes composiciones químicas, naturaleza y propiedades bioactivas. La concentración y tipo de aceites esenciales en las plantas varía por especie y segmento de la planta principalmente, pero también se han reportado diferencias dependientes de la región geográfica y estación de cosecha (Martínez, 2006; Vokov et al.,

1993). La función principal de los aceites esenciales es brindarle a la planta protección contra agentes estresantes abióticos y bióticos, y en algunas ocasiones atraer a otros organismos para favorecer la polinización y dispersión de sus semillas (Wink & Schimner, 1999).

Los principales activos que se encuentran en los aceites esenciales se clasifican dentro de dos grupos químicos; terpenoides (monoterpenoides y sesquiterpenoides) y fenilpropanoides. Estos dos grupos se originan de diferentes precursores del metabolismo primario y son sintetizados por vías metabólicas diferentes en las plantas. Los terpenoides son el grupo más numeroso y diversificado, se han descrito aproximadamente 15,000 (Gershenzon, 1991).

Los terpenoides y fenil-terpenoides ejercen su acción contra las bacterias Gram+ principalmente, mediante interacciones con las membranas celulares de éstas (Davidson & Naidu, 2000; Dorman & Deans, 2000; Griffin et al., 1999). Se acumulan en la doble capa lipídica de la bacteria, y ocupan espacios entre las cadenas de los ácidos grasos, por lo que causan de esta manera cambios morfológicos en la estructura de la membrana, y como resultado fluidificación y expansión (Griffin et al., 1999; Sikkema et al., 1994; Ulter et al., 1999).

Los mecanismos de acción de los aceites esenciales son más efectivos sobre bacterias Gram+, en las cuales actúan directamente con los componentes hidrofóbicos de la membrana celular, aunque esto puede variar dependiendo del principio activo presente en el aceite esencial y el tamaño de éste (Nikaido, 1998; Smith-Palmer, 2009). Algunos aceites esenciales tienen actividad en contra de bacterias Gram- y Gram+, hongos, parásitos y virus, dependiendo esto del perfil de componentes activos o su actividad sinérgica (Busquet et al. 2005; Reuter et al., 1996).

2.5.2 Malato de sodio

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 . inverso del ciclo del ácido cítrico, conocido como la vía succinatopropionato 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 (Callaway & Martin, 1996; Martin & Streeter, 1995).

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., 1983). Sin embargo, debido a que el Malato de los heno 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%).

2.5.3 Ionoforos

Los cambios en el gradiente iónico transmembranal y en el potencial eléctrico frecuentemente producen alteraciones en la función celular y el metabolismo, lo

cual subraya la única propiedad farmacológica y los define como una invaluable herramienta para estudios de la relación entre el metabolismo y el transporte, así como el estudio de las funciones mitocondriales y cloroplásticas (Ovchinnikov, 1979).

Los ionóforos son sustancias muy lipófilas capaces de interactuar estequiométricamente con iones metálicos, por lo que sirven como un vehículo por el cual estos iones pueden ser transportados a través de una membrana de lípidos bimolecular (Ovchinnikov, 1979). Los ionóforos son tóxicos para muchas bacterias, protozoos, hongos y organismos superiores y por lo tanto se ajusta a la definición clásica de antibióticos (Pressman, 1976). El exterior de la molécula es hidrófobo, mientras que el interior es hidrófilo y capaz de unirse a cationes. Algunos ionóforos se unen solo un catión (uniporters), pero otros son capaces de unirse a más de un catión (antiporters). Debido a que las membranas celulares están compuestas de bicapas de lípidos, se necesita alta energía de activación para trasladar iones (Mestorino, 2009).

Los ionóforos fueron introducidos originariamente en la producción de pollo como un agente anticoccidial en 1971. Desde entonces, han sido utilizados en el alimento de los rumiantes para mejorar la eficiencia de la conversión de alimento de por la regulación de la fermentación ruminal en los productos finales. Así como para controlar patologías metabólicas (Mestorino, 2009).

El uso de ionóforos en la alimentación de rumiantes ha sido uno de los avances biotecnológicos más importantes, debido a que mejoran la eficiencia productiva en forma consistente y efectiva entre los que destacan (Rodríguez Pinos & González Muñoz, 2000).

2.5.3.1 Monensina

La Monensina es un antibiótico sintetizado a partir del *Streptomyces cinnamomensis*, del cual se producen dos poliquetidos monensina A y monensina B. Ellos se introducen a las membranas y producen un efecto tóxico 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 & Hoehn, 1968; Liu & Reynolds, 1999).

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 .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 (Gonzalez-Momita et al., 2009).

2.5.3.2 Lasalocida

La Lasalocida es una sal sódica del ácido monocarboxílico producido por el hongo *Streptomyces tesei* (Berger et al., 1984) que posee cationes bivalentes (Ca^{++} , Mg^{++}). 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 .transferir iones de hidrógeno. Es actualmente usado como coccidiostato en aves y ha sido aprobado para su uso como aditivo en raciones para ovinos de carne que modifica selectivamente la flora ruminal y mejora la eficiencia digestiva del ganado.

2.5.4 Mecanismos de acción de los ionóforos

Las bacterias ruminales mantienen niveles altos de potasio intracelular y las concentraciones de sodio intracelular bajas (Chow & Russell, 1992) y, por el contrario, el medio ambiente ruminal contiene altas concentraciones de sodio y

potasio. Por lo tanto, las bacterias ruminales dependen en gran medida (gradientes tanto K^+ y Na^+) gradientes iónicos a absorber los nutrientes y establecer una fuerza motriz de protones (PMF) (Dawson & Boling, 1987, Rosen, 1986; Van Kessel & Russell, 1992).

Los ionóforos son compuestos lipofílicos capaces de transportar y ligar iones y cationes como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Russell & Strobel, 1989) a través de la membrana celular de organismos procariontes y eucariontes. Existen diversos ionóforos, pero los carboxílicos (monensina y lasalocida) son los que se han utilizado con mayor frecuencia en la alimentación de rumiantes (Pressman, 1976). Los ionóforos y los iones que transportan, se unen a través de interacciones dipolo, enlaces de H y fuerzas de Van der Waal.

Los ionóforos afectan a algunas bacterias ruminales, debido a que interrumpen el intercambio iónico y modifican los gradientes protónicos y catiónicos de la membrana celular. Como respuesta a esta modificación de gradientes, las bacterias inician un bombeo activo de protones al exterior que les permite mantener las concentraciones iónicas y el equilibrio ácido-básico en su interior; sin embargo, estos procesos requieren suficiente energía metabólica extra (Henderson et al., 1969; Russell, 1987).

La monensina (M), además de facilitar el intercambio H^+ y Na^+ a través de las membranas celulares, también facilita el intercambio de K^+ y H^+ y el flujo de iones, lo cual ocasiona la salida considerable de K^+ , acumulación de H^+ y disminución del pH (Russell, 1987). Una vez que el pH intracelular es invertido, la monensina provoca la salida de H^+ y la entrada de Na^+ (flechas discontinuas). Como se mencionó anteriormente, estos mecanismos gastan energía (ATP) para expulsar el exceso intracelular de H^+ (flechas continuas, Figura 5), por lo que la energía disponible para el metabolismo y crecimiento bacteriano se reduce considerablemente (Russell, 1987).

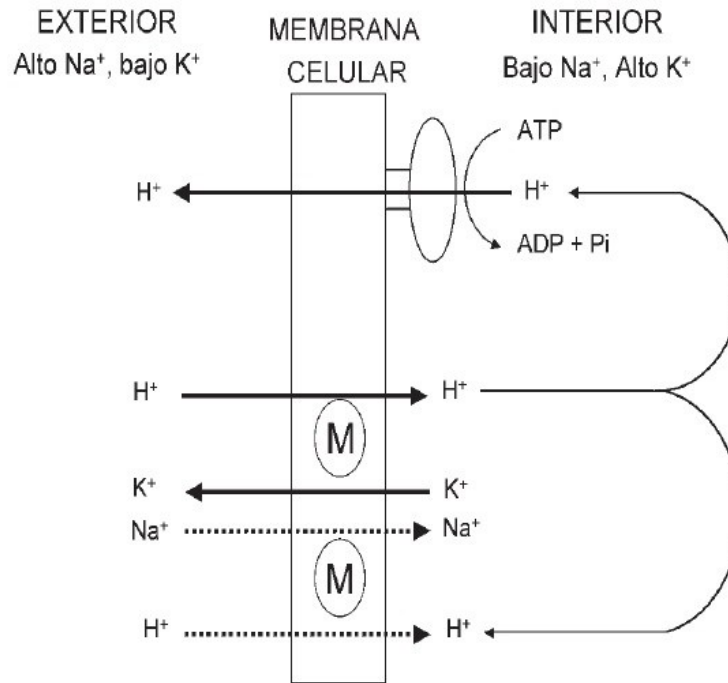


Figura 5. Efecto de la monensina (m) en el flujo de iones en *S. bovis*, (Russell, 1987).

Por su parte, la lasalocida tiene alta afinidad por K^+ , por lo que la difusión del intercambio K^+ /protón parece ser su efecto principal en la célula (Russell & Strobel, 1989). Este ionóforo, al igual que monensina, modifica el potencial electroquímico de la membrana celular, aunque su eficacia depende de las concentraciones de K^+ . Altas concentraciones extracelulares de K^+ disminuyen la actividad de la lasalocida en el transporte de protones (Russell, 1987)

2.6 Literatura Citada

- Abe, M., Iriki, T., Tobe, N., & Shibui, H. (1981). Sequestration of Holotrich protozoa in the reticulo-rumen of cattle. *Applied and Environmental Microbiology*, 41, 758-765.
- Beever, D. E. (1993). Rumen function in *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. Forbes, J. M., and J. France (eds). CAB International. London UK.
- Bergen, W. G., & Bates, B. D. (1984). Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science*, 58, 1465-1483.
- Berger, L. L., Ricke, S. C. and Fahey G. C. (1984). Comparison of two forms and two levels of lasalocida with monensin on feedlot cattle performance. *Journal of Animal Science*, 53: 1440 – 1445
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiology Review*, 2, 567-589.
- Bohman, V. R., Horn, P. F., Stewart, A. B., Mathers, C. A., & Grunes, L. D. (1983). Wheat pasture poisoning. I. An evaluation of cereal pastures as related to tetany in beef cows. *Journal of Animal Science*, 57, 1352-1363.
- Bondi, A. A. (1989). *Nutrición Animal*. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Broderick, G. A., Wallace, J. R., & Ørskov, R. E. (1991). Control of rate and extent of protein degradation. In: *Physiology Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants: Proceedings of the Several International Symposium on Ruminant Physiology*. Tsuda, T., Y. Sasaki, and R. Kawashima. (Eds). Academic Press, NY. pp 541-592.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-253.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Carro, M. D., & Kamel, C. (2005). Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 88, 4393-4404.
- Callaway, E. S. (1997). Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal bacteria that utilize lactate and digest cellulose. *Journal of Dairy Science*, 80, 2035-2044.
- Callaway, T. R., & Martin, A. S. (1996). Effects of organic acid and monensin treatment on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation of cracked corn. *Journal of Animal Science*, 74, 1982-1989.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., & Devant, M. (2002). Effect of pH and pH fluctuations on microbial fermentation and nutrient flow a dual-flow continuous culture system. *Journal of Dairy Science*, 85, 574-579.

- Carberry, C. A., Kenny, D. A., Kelly, A. K., & Waters, S. M. (2014). Quantitative analysis of ruminal methanogenic microbial populations in beef cattle divergent in phenotypic residual feed intake (RFI) offered contrasting diets. *Journal of Animal Science*, 5(41), 1–9. <http://doi.org/10.1186/2049-1891-5-41>
- Cardozo, P. W. S. Calsamiglia, and A. Ferret. 2000. Effects of pH on nutrient digestion and microbial fermentation on a dual flow continuous culture system. *Journal of Dairy Science* 83 (Suppl. 1): 265
- Cardozo, P. W. S. Calsamiglia, and A. Ferret. 2002. Effects of pH on nutrient digestion and microbial fermentation on a dual flow continuous culture system fed a high concentrate diet. *Journal of Dairy Science* 85 (Suppl. 1): 182
- Carrillo-Díaz, F., Socorro, S.-M., Escalera-Valente, F., Carmon-Gaca, C., Peña-Parra, B., & Macías-Coronel, H. (2015). UROLITIASIS EN OVINOS. *ABANICO VETERINARIO*, 5(3), 49–57.
- Carro, M., López, S., Valdés, C., & Ovejero, F. (1999). Effect of DL- Malate on mixed ruminal microorganism fermentation using the rumen simulation technique (RUSITEC). *Animal Feed Science and Technology*, 79, 279-288.
- Chalupa, W. (1980). Chemical control of rumen metabolism. *Digestive Physiology and Metabolism In Ruminants*
- Chalupa, W. (1988). Manipulation of rumen fermentation. In: Haresign, H., and D.J.A. Cole (Eds). *Recent Developments in Ruminant Nutrition 2*. Butterworthd. UK. pp 308-322.
- Cheng, K. J., & Costerton, W. J. (1980). Adherent rumen bacteria: their role in the digestion of plant material, urea and epithelial cells. In: *Digestive physiology metabolism in ruminants*. Eds. MTP Press, Lyncaster. Pág. 227-250
- Chow, J. M. & Russell, B. J. (1992). Effect of pH and monensin on glucose transport by *Fibrobacter succiogenes*, a cellulolytic ruminal bacterium. *App. Microbiol*, 58, 1115-1120.
- Church, D. (1988). Salivary function and production. In Church (ed): *The ruminant animal, digestive physiology and nutrition*. Englewood Clifs, N.J. Prentice Hall: 117.
- Cotta, M. A., & Hespell, B. R. (1986). Proteolytic activity of the ruminal bacterium *Butyrivibrio fibrisolvens*. *Applied and Environmental Microbiology*, 52, 51-58.
- Czerkawski, J. W. (1976). Chemical composition of microbial matter in the rumen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 27, 621-632.

- Davidson, P. M. & Naidu, S. A. (2000). Phyto-phenols. In: Natural food antimicrobial systems. Naidu AS editor. Boca Raton, FL: CRC Press: 265-293.
- Dawson, K. A., & Boling, A. J. (1987). Effects of potassium ion concentrations on the antimicrobial activities of ionophores against ruminal anaerobes. *Applied Environ. Microbiol.*, 53, 2363-2367.
- Dehority, B. A. (1993). Laboratory manual for classification of rumen ciliate protozoa. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Dehority, B. A., & Orpin. G. C. (1988). Development of and natural fluctuations in, ruminal microbial populations. In: The rumen microbial ecosystem, pp. 151-183. P. N. Hobson, Ed. Elsevier Applied Sciences, London, UK.
- Dewhurst, R. J., Moorby, M. J., Dhanoa, S. M., Evans, T. R., & Fisher, J. W. (2000). Effects of altering energy and protein supply to dairy cows during the dry period. 1. Intake, body condition and milk production. *Journal of Dairy Science*, 83, 1782-1794.
- Dinus, D. A., Simpson, E. M., & Marsh, B. P. (1976). Effect of monensin fed with forage on digestion and the ruminal ecosystem of steers. *Journal of Animal Science*, 42, 229-234.
- Duffield, T. . F., Merrill, J. K., & Bagg, R. N. (2015). Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency , body weight gain , and dry matter intake 1. *Departament of Population Medicine*, 1, 4583–4592. <http://doi.org/10.2527/jas2011-5018>
- Durman, H. J. D., & Deans, G. S. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 308-316.
- Elam, C. J., (1976). Acidosis in feedlot cattle: practical observations. *Journal of Dairy Science*, 43: 398 - 901
- Erasmus, L. J., Botha, M. P., & Kistner, A. (1992). Effect of yeast culture supplement on production, rumen fermentation, and duodenal nitrogen flow in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 75, 3056-3065.
- Erfle, J. D., Boila, J. R., Teather, M. R., Mahadevan, S., & Sauer, D. F. (1982). Effect of pH on fermentation characteristics and protein degradation by rumen microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science*, 65, 1457-1464.
- Fahey, G. C., & Berger, L. L. (1993). Los Carbohidratos en la Nutrición de los rumiantes. In: *El Rumiente. Fisiología Digestiva y Nutrición*. pp 305-337 Church, D. C. (ed). Acibia, Zaragoza. España.

- FAO. (2013). Online FAO Statistical Database. www.fao.org Food and Agriculture Organization, United Nations.
- Fluharty, F. L., & Loerch, C. S. (1989). Chemical treatment of ground corn to limit ruminal starch digestion. *Can. Journal of Animal Science*, 69, 173-180.
- Fonty, G., & Joblin, N. K. (1991). Rumen anaerobic fungi: Their role and interactions with other rumen microorganisms in relation to fiber digestion. *Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants*. Ed. Academic Press, Inc. San Diego, CA. Pág. 655-679
- Forsberg, C. W., L. A. Lovelock, L. Krumholz, y J. G. Buchanan-Smith. 1984. Protease activities of rumen protozoa. *Appl. Env. Microbiol.* 121:105-119.
- France, J., & Siddons, C. R. (1993). Volatile Fatty Acid Production. In: *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. Forbes, J. M., and J. France (eds). CAB International. London, UK. pp 107-122.
- Fuller, R. (1989). A Review: Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66, 365-378.
- Gershenson, J., Croteau, R. (1991). Terpenoids in herbivores: Their Interactions with secondary plant metabolites. Rosenthal GA, Berenbaum MR editors. San Diego, CA: Academic Press 1:165-219.
- Gonzalez M., M. L. J. (2004). *Efecto del ionoforo (monensina o lasalocida) y malato de sodio en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal en ovinos pelibuey*. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit, México).
- Gonzalez-Momita, M. L., Kawa, J. R., García-Castillo, R., Gonzalez-Morteo, C., Aguirre-Ortega, J., Hernandez-Vidal, G., Lu, C. D. (2009). Nutrient intake, digestibility, mastication and ruminal fermentation of Pelibuey lambs fed finishing diets with ionophore (monensin or lasalocid) and sodium malate, 83, 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.11.008>
- Gottschalk, G. (1986). *Bacterial Metabolism* (2th ed.) Springer-Verlag, New York.
- Greathead, H. (2003). Plant and plant extract for improving animal productivity. *Proceedings of the Nutrition Society* 62:279-290.
- Griffin, S. G., Wyllie, G. S., Markham, L. J., & Leach, N. D. (1999). The role of structure and molecular properties of terpenoids in determining their antimicrobial activity. *Flavour and Fragrance Journal*, 14, 322-332.
- Guzmán T., T. A (2004). *Efecto de la adición de ácido propionico en la conservación de ensilados de saccharina*. (Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Estado de México, México). Consultada en

- Hale, W. H. (1973). Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *Journal of Animal Science*, 37, 1075-1080.
- Haney, M. E. Jr., & Hoehn, M. M. (1968). Monensin, a new biologically active compound. In: *Discovery and isolation*. pp. 349. *Antimicrob. Agents. Chemother.*
- Haven, M., Boman, K., Engelbert, T., & Blikslager, A. (1993). Surgical management of urolithiasis in small ruminants. *The Cornell Veterinarian*, 83(1), 47–55.
- Henderson, J. F., McGivan, D. J., & Chappell, B. J. (1969). The action of certain antibiotics on mitochondrial, erythrocyte and artificial phospholipid membranes. *Biochem. J.*, 11, 521-530.
- Hespell, R. B., & Bryant, P. M. (1979). Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factors on YATP. *Journal of Animal Science*, 49, 1641-1659.
- Hibbard, B., Peters, J.P., Chester, J.A., Robinson S.F., Kotarski W, J., Croom, Jr., Hagle, Jr. W.M., 1995. The effect of slaframine on salivary output and subacute and acute acidosis in growing beef steers. *Journal of Animal Science*: 73, 516– 525.
- Hino, T., & Russell, B. J. (1985). Effect of reducing-equivalent disposal and NADH/NAD on deamination of amino acids by intact rumen microorganisms and their cell extracts. *Applied and Environmental Microbiology*, 50, 1368-1374.
- Hoover, W. H. (1986). Chemical factories involved in ruminal fiber digestion. *Journal of Dairy Science*, 29, 2755-1766.
- Hoover, W. H., & Strokes, R. S. (1991). Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Animal Science*, 74, 3630-3644.
- Hoover, W. H., Kincaid, R. C., Varga, A. G., Thaine, V. W., & Junkin, L. L. Jr. (1984). Effects of solid and liquid flows on fermentation in continuous culture. IV. pH and dilution rate. *Journal of Animal Science*, 58, 692-699.
- Hungate, R. E. (1966). *The rumen and its microbes*. Academic Press, New York.
- Ivan, M., Hidioglou, M., & Petit, V. H. (1991). Duodenal flow of nitrogen following protozoal inoculation of fauna-free sheep fed a diet supplemented with casein or soybean meal. *Can. Journal of Animal Science*, 71, 793-801.
- Ivan, M., Neill, L., & Entz, T. (2000). Ruminal fermentation and duodenal flow following progressive inoculations of fauna-free wethers with major individual species of ciliate protozoa or total fauna. *Journal of Animal Science*, 78, 750-759.

- Jenkinson, M. F., Buttery, J. P., & Lewis, D. (1979). Assimilation of ammonia by *Bacteoides amylophilus* in chemostat culture. *Journal of General and Applied Microbiology*, 113, 305- 313.
- Jouany, J. P. (1996). Effect of rumen protozoa on nitrogen utilization by ruminants. *Journal of Nutrition*, 126: 1335-1346
- Kamel, C. (2001). Tracing modes of action and roles of plant extracts in non-ruminants. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. pp 151-165. P. C. Garnsworthy, and J. Wiseman, ed. Nottingham. Univ. Press. UK.
- Koenig, K. M., Newbold, J. C., McIntosh, M. F., & Rode, M. L. (2000). Effects of protozoa on bacterial nitrogen recycling in the rumen. *Journal of Animal Science*, 78, 2431-2445.
- Kung, Jr. L., Kreck, M. E., Tung, S. R., Hession, O. A., Sheperd, C. A., Cohen, A. M., Swain, E. H., & Leedle, Z. A. J. (1997). Effects of a live yeast culture and enzymes on in vitro ruminal fermentation and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80, 2045- 2051.
- Lehninger, A. L. (1975). *Biochemistry* (2th ed.) Worth Publishers, New York.
- Liu H. B., & Reynolds, K. A. (1999). Role of crotonyl coenzyme A reductase in determining the ratio of polyketides monensin A and B produced by *Streptomyces cinnamonensis*. *Journal of Bacterial*, 181, 6806-6813.
- López, S., Valdés, C., Newbold, C. J., & Wallace, J. R. 1999. Influence of sodium fumarate addition on rumen fermentation in vitro. *British Journal of Nutrition*, 81, 59-64.
- Martin, S. A., & Streeter, N. M. (1995). Effect of malate on the in vitro mixed ruminal microorganism fermentation. *Journal of Animal Science*, 73, 2141-2145.
- Martin, S. A., Streeter, M. N., Nisbet, D. J., Hill, G. M., & Williams, S. E. (1999). Effects of DL-Malate on Ruminal Metabolism and Performance of Cattle Fed a High-Concentrate Diet 1, 1008–1015.
- Martin, S. A., Streeter, N. M., Nisbet, J. D., Hill, M. G., & Williams, E. S. (1999). Effects of DL-malate on ruminal metabolism and performance of cattle fed a highconcentrate diet. *Journal of Animal Science*, 77, 1008-1015.
- Martin, S. A., Sullivan, H. M. and Evans, J. D. (2000). Effect of sugars and malate on ruminal microorganisms. *Journal of Dairy Science*, 83: 2574-2479.
- Martinez, S. J., Madrid, F., Hernandez, M. D., Megias, J., Sotomayor, A., & Jordan, J. M. (2006). Effect of thyme essential oils (*Thymus hyemalis* and *Thymus zygis*)

- and monensin on in vitro ruminal degradation and volatile fatty acid production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 6598-6602.
- McAllister, T. A., Phillipe, C. R., Rode, M. L., & Cheng, J. K. (1993). Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *Journal of Animal Science*, 71, 205-212.
- McDonald, P., Edwards, A. R., Greenhalgh, D. F. J., & Morgan, A. C. (1995). *Animal Nutrition* (5th ed) Addison Wesley Longman Limited, London, UK.
- Mendoza M., G. D., Plata P., F. X., Ramírez M., M., Mejia D., M. A., Lee R., H., & Bárcena G., R. (2007). Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 17, 66-72.
- Mestorino, N. (2009). Antimicrobianos en avicultura. Departamento de Farmacología Especial y Toxicología, Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de La Plata.
- Montaño, M. F., Chai, W., Zinn-Ware, E. T., & Zinn, A. R. (1999). Influence of malic acid supplementation on ruminal pH, lactic acid utilization and digestive function in steers fed high-concentrate finishing diets. *Journal of Animal Science*, 77, 780-784.
- Morris, W. E., & Fernández-Miyakawa, M. E. (2009). Toxinas de *Clostridium perfringens*. *Revista Argentina de Microbiología*, 41, 251-260.
- Mould, F. L., & Ørskov, R. E. (1983). A comparison of the chemical composition of mixed bacteria harvested from the liquid and solid fractions of rumen digesta. *Animal Feed Science and Technology*, 10, 1-14.
- Mould, F. L., & Ørskov, R. E. (1984). Manipulation of ruminal fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Animal Feed Science and Technology*, 10, 15-30.
- Murguía O., M. de la L., Pacheco A., J. A., & Castellanos R., A. F. (2003). La rumenitis causada por acidosis ruminal no afecta a la digestibilidad de los nutrientes en los ovinos Pelibuey. *Técnica Pecuaria México*, 41(3), 329-336.
- Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A. and Rodwell, V. W. (1993). *Harper's biochemistry*. 23rd eds. USA
- Nagaraja, T. G., Avery, B. T., Bartley, E. E., Roof, K. S., & Dayton, D. A. (1982). Effect of lasalocid, monensin, or thiopeptin on lactic acidosis in cattle. *Journal of Animal Science*, 54, 649- 658.

- Nagaraja, T. G., Towne, G. and Beharka, A. (1992). Moderation of ruminal fermentation by ciliated protozoa in cattle fed a high-grain diet. *Applied and Environmental Microbiology*, 58: 2410-2414
- Nikaido, H. (1998). Prevention of drug access to bacterial targets: permeability barriers and active efflux. *Science*, 264, 382-388.
- Nisbet, D. J., & Martin, A. S. (1990). Effect of dicarboxylic acids and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on lactate uptake by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 56: 3515-3518
- Nisbet, D. J., & Martin, A. S. (1991). Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Journal of Animal Science*, 69, 4628-4633.
- Nocek, J. E. (1994). Manipulation of non structural and structural carbohydrates in rations for dairy cows. *Minnesota Nutrition Conference*, 55: 165-171.
- Nocek, J. E., & Tamminga, S. (1991). Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effects on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3598-3629.
- Nolan, J. V. (1975). Quantitative models of nitrogen metabolism in sheep. In: *Digestion and metabolism in the ruminants*. pp 416-431. McDonald, I. W., and A. C. Warner. (eds). University of New England Publishing Unit. Armidale. Australia.
- Nolan, J. V. (1993). Nitrogen kinetics. In: *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Pág. 123-145. J. M. Forbes y J. France, Eds. CAB International. Wallingford. Oxon. UK.
- Nordlund, K., 2003. Factors that contribute to subacute ruminal acidosis. En: *American Association of Bovine Practitioners. 36th Annual Conference*, September 15-17. Columbus, OH. <http://www.vetmed.wisc.edu/>.
- NRC. (2001). *Requirements of dairy cattle (7th ed)* National Academy Press, Washington, DC
- Oetzel, G. R. (2003). Preconvention Seminar 7. Dairy herd problem investigation strategies. American association of bovine practitioners. 36a Annual conference, September 15-17. 2003- Columbus, Oh.
- Orpin, C. G. (1981). Isolation of cellulolytic phycomycete fungi from the caecum of the horse. *Journal of General Microbiology*, 123, 287-296.
- Ørskov, E. R. (1992). *Protein nutrition in ruminants*. Academic Press Limited. Oval Road, London NW1 7DX, UK. 24-28

- Ovchinnikov, Y. A. (1979). Physico-chemical basis of ion transport through biological membranes: Ionophores and ion channels. *Eur. J. Biochem.*, 94, 321-336.
- Owens, F. N. Secrist, D. S. Hill, W. J. and Gill, D. R. (1998). Acidosis in cattle: A Review. *Journal of Animal Science*, 76: 275 – 286.
- Owens, F. N., & Goetsch, L. A. (1986). Digesta passage and microbial protein synthesis. In: *Control of digestion and metabolism in ruminants*. pp. 196-226. Eds. Reston Book, Prentice-Hall, Englamood Cliffs, New Jersey.
- Owens, F. N., & Zinn, R. (1988). Metabolismo de la proteína en los rumiantes. In: *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. pp 255- 282. Ed: Church, D. C. Acribia, Zaragoza, España.
- Payne, J. W. (1983). Peptide transport in bacteria: methods, mutants and energy coupling. *Biochemical Society Transactions*, 11, 794-798.
- Phipps, R. H., Wilkinson, D. I. J., Jonker, J. L., Tarrant, M., Jones, K. A., & Hodge, A. (2000). Effect of monensin on milk production of Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83, 2789-2794.
- Piñero-Vázquez, A., Oliva-Hernández, J., & Hinojosa-Cuéllar, J. (2009). Uso de suplementación mineral con monensina sódica en corderas Use of mineral supplementation with monensin sodium in Pelibuey female lambs during the postweaning growth. *Arch Med Vet*, 41, 35–41.
- Pressman, B. C. (1976). Biological applications of ionophores. *Annual Review of Biochemistry*, 45, 501.
- Prins, R. A., Van Rheenen, L. D., & Van Klooster, T. A. (1983). Characterization of microbial proteolytic enzymes in the rumen. *A. van Leeuwenhoeck*, 49, 585-595.
- Reuter, H. D., Koch, P. J., & Lawson, L. (1996). Therapeutic effects and applications of garlic and its preparations. In: *Garlic: The science and therapeutic application of Allium sativum L. and related species*. Koch HP. Lawson LD editors. Williams & Wilkins, Baltimore, MD.
- Rodríguez Pinos, J. M., & González Muñoz, S. (2000). EFECTOS BIOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS DE LOS IONÓFOROS EN RUMIANTES. *Interciencia*, 25(8), 379–385
- Rodríguez Pinos, J. M., & González Muñoz, S. (2000). EFECTOS BIOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS DE LOS IONÓFOROS EN RUMIANTES. *Interciencia*, 25(8), 379–385.
- Rosen, B. P. (1986). Recent advances in bacterial ion transport. *Ann. Rev. Microbiol.*, 40, 263-286.

- Ruiz, R., Albrecht, L. G., Tedeschi, O. L., Jarvis, G., Russell, B. J., & Fox, G. D. (2001). Effect of monensin on the performance and nitrogen utilization of lactating dairy cows consuming fresh forage. *Journal of Dairy Science*, 84, 1717-1727.
- Russell, J. B. (1987). A proposed mechanism of monensin action in inhibiting ruminal bacterial growth: effects on ion flux and protonmotive force. *J. Anim. Sci.*, 64, 1519-1525.
- Russell, J. B. (1991). Intracellular pH of acid tolerant ruminal bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 57: 3383 – 3384.
- Russell, J. B. (1998). Strategies that ruminal bacteria use to handle excess carbohydrate. *Journal of Animal Science*, 76, 1955-1963.
- Russell, J. B., & Dombrowski, B. D. (1980). Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 39, 604- 610.
- Russell, J. B., & Hespell, B. R. (1981). Microbial rumen fermentation. *Journal of Dairy Science*, 64, 1153-1169.
- Russell, J. B., & Strobel, J. H. (1988). Effects of additives on in vitro ruminal fermentation: A comparison of monensin and bacitracin, another gram-positive antibiotic. *Journal of Dairy Science*, 66, 552-558.
- Russell, J. B., & Strobel, J. H. (1989). Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 54: 872 – 877
- Russell, J. B., & Wilson, B. D. (1996). Why are Ruminal Cellulolytic Bacteria Unable to Digest Cellulose at Low pH. *Journal of Dairy Science*, 79, 1503-1509.
- Sauvant, D., Meschy, F. & Mertens, D. (1999). Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des ratios. *INRA Prod. Anim.*, 12, 49-60.
- Schelling, G. T. (1984). Monensin mode of action in the rumen. *Journal of Animal Science*, 58, 1518-1527.
- Scott, A. M. (1998). Ruminal fermentation with organic acids examined. *Feedsutffs*, 10, 12-17.
- Shriver, B. J., Hoover, H. W., Sargent, P. J., Crawford, J. R., & Thaine, V. W. (1986). Fermentation of a high concentrate diet as affected by ruminal pH and digesta flow. *Journal of Dairy Science*, 69, 413-419.
- Sikkema J., Bont, A. M. J., & Poolman, B. (1994). Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. *Journal of Biological Chemistry*, 269, 8022-8028.

- Simon, J. E. (1990). Essential oils and culinary herbs. In: Janick J, Simon JE, editors. *Advances in new crops*. Portland, Oregon: Timber Press: 472-483.
- Slyter, L. L. (1976). Influence of acidosis on rumen function. *Journal of Animal Science*, 63:43, 910-929.
- Slyter, L. L. (1979). Monensin and dichloroacetamide influences on methane and volatile fatty acid production by rumen bacteria in vitro. *Applied and Environmental Microbiology*, 37, 283- 288.
- Smith-Palmer A., Stewart, J., & Fyfe, L. (1998). Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens. *Letters in Applied Microbiology*, 26, 118- 122.
- Stern, M. D., & Hoover, H. W. (1979). Methods for determining and factors affecting rumen microbial protein synthesis: a review. *Journal of Animal Science*, 49, 1590-1603.
- Stewart, C. S. (1977). Factors affecting the cellulolytic activity of rumen contents. *Applied and Environmental Microbiology*, 33, 497-502.
- Stewart, C. S., & Bryant, P. M. (1988). The rumen bacteria. In: *The Rumen Microbial Ecosystem*. Hobson, P. N. (ed) Elsevier Science Publishers LTD, Essex. UK.
- Stone, W.S., 2004. Nutritional Approaches to Minimize Subacute Ruminal Acidosis and Laminitis in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 87 (E. Suppl): E13–E26.
- Strobel, H. J., & Russell, B. J. (1986). Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate limited cultures of mixed rumen bacteria. *Journal of Dairy Science*, 69, 2941-2947.
- Theurer, C. B. (1986). Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 63, 1649-1662.
- Ultee, A., Kets, P. E., & Smid, J. E. (1999). Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 4606-4610.
- Van Kessel, J. S., & Russell, B. J. (1992). Energetics of arginine and lysine transport by whole cells and membrane vesicles of strain SR, a monensin-sensitive ruminal bacterium. *Applied Environ. Microbiol.*, 58, 969-975.
- Van Nevel, C. J., & Demeyer, I. D. (1988). Manipulation of rumen fermentation. In: *The Rumen Microbial Ecosystem*. pp 387- 444. Hobson, P. N. ed. Elsevier Applied Science. London, UK.

- Van Soest, P. J. (1982). Nutritional ecology of the ruminant animal. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Van Soest, P. J., Robertson, B. J., & Lewis, A. B. (1991). Methods for dietary fibre, neutral fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3588-3597.
- Varga, G. A., Dann, M. H., & Ishler, A. V. (1998). The use of fiber concentration for ration formulation. *Journal of Dairy Science*, 81, 3063-3074.
- Vokou D., Kokkini, S., & Bessiere, M. J. (1993). Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) essential oils. *Biosc Biotech Bioch*, 21, 287-295.
- Wallace, R. J. (1996). Ruminant microbial metabolism of peptides amino acids. Conference: Altering ruminal nitrogen metabolism to improve protein utilization. *Journal of Nutrition*, 126: 1326S – 1334S
- Wallace, R. J., & Cotta, A. M. (1988). Metabolism of nitrogen-containing compounds. In: *The rumen microbial ecosystem*. pp. 217-250. P. N. Hobson, Ed. Elsevier Applied Science, NY.
- Williams, A. G., & Coleman, S. G. (1988). The rumen Protozoa. In: *The Rumen Microbial Ecosystem*. pp 77-128. Hobson, P. N. (ed) Elsevier Science Publishers LTD, Essex. UK.
- Wink, M., & Schimmer, O. (1999). Modes of action of defensive secondary metabolites. In: Wink M editor. *Functions of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology*. pp 17-112. Sheffield UK: Sheffield Academic Press.
- Wolin, M. J., & Miller, L. T. (1988). Microbe-microbe interactions. In: *The Rumen Microbial Ecosystem*. pp 343-359. Hobson, P. N. ed. Elsevier Applied Science LTD, Essex. UK
- Yang, C. M. J., & Russell, B. J. (1993). Effect of monensin on the specific activity of ammonia production by ruminal bacteria and disappearance of amino nitrogen from the rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, 59, 3250-3254.
- Yokohama, M. T., & Johnson, A. K. (1988). Microbiología del rumen e intestino. In: *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. pp 137-158. Ed. Editorial Acribial. Zaragoza, España.

USO DE MODIFICADORES DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL EN LA FINALIZACIÓN DE CORDEROS

3.1 Resumen

Los modificadores de la fermentación ruminal pueden favorecer una menor pérdida de energía del alimento ofrecido a corderos en finalización. El objetivo del estudio fue analizar el comportamiento productivo y atributos nutricionales de corderos en finalización al agregar tres modificadores de la fermentación ruminal para validar la adición de los mismos. Por lo que se usaron 35 corderos (20 hembras y 15 machos) Pelibuey (23.6 kg $\pm$ 3.2) de 4 meses de edad, distribuidos en un diseño de bloques completos al azar, para evaluar cinco dietas: testigo sin modificador, con monensina sódica (25 g t⁻¹); con malato de calcio (2.5 kg t⁻¹), con aceites esenciales (150 g t⁻¹); y, con aceites esenciales (150 g t⁻¹) más monensina sódica (25 g t⁻¹). El consumo de alimento por cordero, la ganancia diaria de peso, grosor de grasa dorsal, área del ojo de la costilla, consumo de nutrientes, pH ruminal y tiempo de masticación fueron similares ($p \geq 0.05$) entre las dietas. La eficiencia alimenticia fue máxima ($p \leq 0.05$) con aceites esenciales, 19 y 24% superior a la testigo y con monensina, respectivamente. El consumo de materia seca en g/kg^{0.75} fue máximo con malato de calcio, 23% superior al de dietas con aceites esenciales y monensina. La dieta testigo mostró la menor ($p \leq 0.05$) digestibilidad de la materia seca y perfil de producción de gas *in vitro* en relación a las otras dietas; y con tendencia ($p = 0.056$) a menor digestibilidad de la proteína cruda. La proporción de ácido acético en rumen fue 6% mayor en las dietas con aceites esenciales en comparación a la testigo; mientras que en la de ácido propiónico, la adición de aceites esenciales ocasionó una disminución. Se concluye que el comportamiento productivo de corderos en finalización similar entre los modificadores ruminales aceites esenciales, malato de calcio y monensina sódica.

Palabras clave: modificadores, fermentación, aceites esenciales, malato de calcio, monensina.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal,
Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Maria Angelica Ortiz Heredia
Director de Tesis: Pedro Arturo Martínez Hernández

USE OF RUMEN FERMENTATION MODIFIERS IN THE FATTENING OF LAMBS

3.2 Abstract

Rumen fermentation modifiers could reduce energy loss from feed given to fattening lambs. The study aimed to analyze lamb performance and nutritive attributes in finalization when three rumen fermentation modifiers were added to the same diet to evaluate them. Thirty-five (20 female and 15 male) four-month Pelibuey lambs ($23.6 \pm 3.2\text{kg}$), were distributed in a complete block design to evaluate five diets: control, without modifiers; monensin (25 g t^{-1}); calcium malate (2.5 kg t^{-1}); essential oils (150 g t^{-1}); and, essential oils (150 g t^{-1}) plus monensin (25 g t^{-1}). Feed intake, average daily gain, fat thickness, rib eye area, nutrient intake; rumen pH, and chewing time were similar ($p \geq 0.05$) among diets. The highest feed efficiency ($p \leq 0.05$) was obtained with essential oils, 19 and 24% above control and monensin, respectively. The highest ($p \leq 0.05$) feed intake on $\text{g/kg}^{0.75}$ was registered for calcium malate, 23% above essential oils and monensin. Control diet had the lowest ($p \leq 0.05$) dry matter digestibility and *in vitro* gas production pattern; and a trend ($p = 0.056$) for the lowest crude protein digestibility. Rumen acetic acid proportion was 6% greater whit essential oils than that in control diet; meanwhile, propionic acid proportion decreased. It was concluded that lamb performance in finalization was similar regardless the rumen modifiers added (essential oils, calcium malate and monensin).

Key words: modifiers, fermentation, essential oils, calcium malate, monensin.

Thesis of Master in Science in Livestock Innovation, Postgraduate in Animal Production, Chapingo University.

Author: Maria Angelica Ortiz Heredia

Thesis Director: Pedro Arturo Martínez Hernández

3.3 Introducción

En las explotaciones ovinas destinadas a la producción de corderos para el abasto, la tasa de crecimiento y el tiempo requerido del nacimiento al peso de venta es importante en la eficiencia productiva y económica de las mismas. Sobre todo, por las implicaciones que tiene en la economía del productor. A éste le es importante que el crecimiento sea rápido y eficiente a fin de que sus costos sean menores por conceptos de mantenimiento y de permanencia en la explotación, por ello se han implementado nuevas tecnologías como el uso de aditivos y promotores del crecimiento (Murguía et al., 2003)

Durante mucho tiempo se han utilizado aditivos antibióticos en dietas para rumiantes como una estrategia más para manipular el ecosistema microbiano ruminal, a fin de optimizar la digestión y la utilización de los nutrientes (Carberry et al., 2014) La manipulación del rumen se puede hacer mediante sustancias que alteren el ambiente del rumen (buffers o tampones), modifiquen la actividad metabólica y proporción de ciertos microorganismos (ionóforos), mejoren el ambiente ruminal (cultivos microbianos), o incrementen la utilización de los alimentos (enzimas) (Mendoza al., 2007).

Los aditivos en la alimentación de rumiantes son sustancias que no aportan nutrimentos específicos: energía, proteína o minerales, eventualmente se ofrecen en la dieta de los rumiantes para mejorar la eficiencia de uso de la misma, entre otros aspectos, a través de reducir trastornos digestivos, reducir pérdidas de energía en los procesos metabólicos microbianos y favorecer poblaciones microbianas eficientes. Las cantidades añadidas de los aditivos son siempre muy pequeñas, expresadas en partes por millón. La diferencia en la eficiencia se puede reflejar en mejoras en la ganancia de peso, conversión alimenticia y consumo, con reducción en la incidencia de trastornos de la salud, principalmente de origen digestivo y metabólico (Guzmán, 2004).

Los modificadores de la fermentación ruminal son aditivos encaminados a promover una fermentación más eficiente, al reducir la liberación de compuestos como el metano, que impliquen una reducción en el uso de la energía presente en la dieta consumida alta en grano (Gonzalez, 2004). En general, esta fermentación más eficiente se logra mediante la modificación en la proporción de poblaciones microbianas por la adición de antibióticos, aceites esenciales o sustancias amortiguadoras o buffer

A pesar de que algunos antibióticos como la monensina sódica mejoran la eficiencia de la fermentación ruminal, el futuro de su uso diario y extendido es riesgoso ante la política de eliminar los antibióticos en la alimentación de los animales destinados a consumo humano. Ante esta situación, la investigación debe de proveer y validar opciones distintas a los antibióticos que permitan mejorar la eficiencia de la fermentación ruminal a un nivel igual o superior al logrado con los antibióticos. Entre estas opciones están los aceites esenciales (Gonzalez, 2004).

Por lo tanto, el objetivo del estudio fue analizar el comportamiento productivo y algunos atributos nutricionales de corderos en finalización al incorporar a la dieta diferentes modificadores de la fermentación ruminal (monensina sódica, malato de calcio y aceites esenciales), para generar información que permita la validación del uso de los mismos.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Ubicación geográfica y situación climática del sitio de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, a 19°29'05" N; 98°53'112"O y 2250 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media anual es 17.2° C y la precipitación anual es 598 mm, mayormente concentrada de mayo a septiembre (García, 1988). Todos los animales utilizados en este experimento fueron manejados de acuerdo a lo

establecido en la NOM-062-ZOO 1999 “Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio”.

3.4.2 Animales y tratamientos

Los corderos usados fueron 35 de la raza Pelibuey, 20 hembras y 15 machos, de 4 meses de edad, peso promedio de 23.6 ± 3.2 kg, los cuales fueron asignados aleatoriamente a cinco tratamientos en un diseño de bloques completamente al azar. La dieta de finalización ofrecida durante el periodo experimental fue formulada para una ganancia de 300 g d^{-1} de acuerdo a las recomendaciones del NRC (2007), los detalles se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Ingredientes y composición química de tratamientos.

Ingredientes (%)	Tratamientos ^z				
	TES	MON	MAL	AE	AE+MON
Rastrojo de maíz	15	15	15	15	15
Maíz molido	30	30	30	30	30
Pasta de soya	5.44	5.44	5.82	5.70	5.70
Sorgo molido	28.22	28.22	29.39	29.01	29.01
Gluten de maíz	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
Salvado de trigo	5.84	5.84	3.98	4.58	4.58
Grasa de sobrepaso	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Melaza de caña	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10
Urea	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Carbonato de calcio	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Premezcla de minerales y vitaminas ^y	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Composición química					
Proteína cruda (%)	15	15	15	15	15
EM (Mcal/kg) ^{x, w}	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Fibra detergente neutro, (%)	22.12	22.12	21.32	21.58	21.58
Calcio (%)	1.15	1.15	1.15	1.18	1.18
Fósforo (%)	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38

^zTES = dieta control; MON = monensina; MAL = malato; AE = aceites esenciales; AE+MON = aceites esenciales más monensina. ^yComposición declarada (g o mg/kg): 240 g de Ca; 30 g de P; 20 g de Mg; 80 g de Na; 120 g de Cl; 5 g de K; 5 g de S; 5 mg de Cr; 4000 mg de Mn; 2000 mg de Fe; 5000 mg de Zn; 100 mg de I; 30 mg de Se; 60 mg de Co; 500000 UI de vitamina A; 150000 UI de vitamina D; 1000 UI de vitamina E. ^xEM = energía metabolizable. ^wValores calculados (NRC, 2007).

Los tratamientos fueron: (1) Dieta testigo sin aditivos (TES n=7), (2) Dieta con monensina sódica 25 g t⁻¹ (MON n=7; Rumensin 200®, Elanco México, Jalisco, México), (3) Dieta con malato de calcio 2.5 kg t⁻¹ (MAL n=7; Rumalato®, Norel México, Querétaro, México), (4) Dieta con aceites esenciales (Timol, Carvacrol, Eucaliptol) 150 g t⁻¹ (AE n=7; MixOil®, Nutryplus, Querétaro, México), y (5) Dieta con aceites esenciales 150 g t⁻¹ y monensina sódica 25 g t⁻¹ (AE+MON n=7). Los modificadores de la fermentación ruminal se incluyeron en la premezcla mineral. El nivel de los modificadores de la fermentación ruminal se estableció de acuerdo a las empresas proveedoras de estos aditivos.

3.4.3 Manejo, desempeño y digestibilidad aparente

Los corderos fueron separados aleatoriamente en siete bloques completos al azar, con cinco tratamientos en cada bloque, se usaron el sexo y peso dentro de sexo como criterios de bloqueo. Los corderos fueron confinados en corraletas individuales, previamente identificadas, las cuales disponían de un comedero y una cubeta de plástico que se utilizó como bebedero.

En la fase de recepción, los corderos fueron alojados en un corral donde se les suministró una dieta de adaptación, la cual consistió en forraje de avena ad libitum durante tres días. Se desparasitaron con Ivermectina y Clorsulom (Ivomect® F, Merial México, Querétaro, México), en dosis de 1 mL por cada 50 kg de peso vivo (PV) de cordero. Se les vacunó contra Clostridium A, B, C y D (Bovimune Clostri 10®, Lapisa, Michoacán, México).

Antes de transportarlos a sus corraletas individuales para iniciar la etapa de finalización, los animales fueron pesados con una báscula (Báscula colgante CRS®, Torrey, Ciudad de México, México), para obtener el peso inicial del animal.

Una vez alojados en corraletas se inició una fase de adaptación, donde se ofreció forraje más la dieta a probar por tratamiento y cada día se adicionó un 20% de la

dieta correspondiente al tratamiento hasta eliminar por completo el forraje (5 días).

La fase de finalización duró 50 días, el alimento se ofreció a las 7:00 y 16:00 horas, el primer día de finalización fue de 1.5 kg de alimento por cordero y después la cantidad de alimento fue asignada considerando 15% por arriba del consumo previo registrado más inmediato, con el fin de garantizar a un consumo ad libitum. El agua se ofreció en recipientes de 18 litros de capacidad, con recambio total de agua cada tercer día, pero adiciones diarias si así lo requería. Durante la fase de finalización se registró el peso (Báscula colgante CRS®, Torrey, Ciudad de México, México) de los corderos cada 14 días, mientras que diariamente se pesó el alimento ofrecido y rechazado (Heavy Duty Solution Balance Scale®, Ohaus, New Jersey, USA). Con estos datos se calcularon variables productivas como consumo de materia seca (CON), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA) y eficiencia alimenticia (EFA).

En el día 30 del periodo de engorda, 15 corderos de tres bloques fueron equipados con una bolsa de mezclilla y cubierta interna de plástico para recolección de heces. Durante 9 días consecutivos se colectó la cantidad individual de heces producidas, se pesaron, identificaron y congelaron. Diariamente se registró la cantidad de alimento ofrecido, rechazado (24 h después) este último fue colocado en una bolsa, identificado y congelado para su posterior análisis. En el día 9 de la fase de colección, se obtuvieron muestras del fluido ruminal por medio de una sonda, 2 horas posteriores a la alimentación. Éste fluido ruminal sirvió como inóculo para el análisis de producción de gas *in vitro* y análisis de ácidos grasos volátiles. Los corderos fueron pesados un día antes y un día después de la fase de muestreo, para sacar el peso promedio y con este peso por cordero como referencia, se calculó el consumo de MS con base en el peso metabólico ($\text{kg}^{0.75}$). Una vez terminada la fase de muestreo, los corderos continuaron en la engorda hasta salida al mercado en el día 50.

3.4.4 Análisis de muestras y producción de gas *in vitro*

El alimento ofrecido, rechazado y las heces recolectadas se secaron individualmente en una estufa de aire forzado a 65 °C durante más de 96 h hasta peso constante (AOAC, 1997). Las muestras de alimento ofrecido, rechazado y heces fueron molidas con un molino (Wiley®, Thomas, New Jersey, USA) con una criba de 2 mm de diámetro. Para eliminar el agua residual y calcular la materia seca (MS) absoluta, así como expresar la composición de nutrientes en base seca, muestras de alimento ofrecido, rechazado y heces secaron a 105°C en estufa de aire forzado (AOAC, 1997). El extracto etéreo (EE) se determinó mediante el método de Soxhlet (AOAC, 1997). El contenido de ceniza se obtuvo después de la combustión en una mufla a 550 °C durante 3 h.

El contenido de nitrógeno se determinó utilizando el método micro-Kjeldahl, y el contenido de proteína cruda (CP) se calculó con la multiplicación $N \times 6.25$ (AOAC, 1997). La fibra de detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) fueron determinadas usando el equipo ANKOM200 FIBER ANALYZER, siguiendo el protocolo del proveedor del equipo (Ankom, 2015). El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) disponible para la fermentación ruminal, se calculó de la siguiente manera: $CNF = MS - (PC + EE + FDN + Cenizas)$. Con los datos del análisis de nutrientes consumido y excretados se estimó la digestibilidad aparente de la MS, MO, FDN, y PC. Así mismo se estimó el consumo individual de nutrientes.

Para la cinética de la fermentación *in vitro* se determinó mediante la técnica de producción de gas de Theodorou, Williams, Dhanoa, McAllan, & France (1994). Las muestras de alimento ofrecido se colocaron en frascos de vidrio ámbar de 125 mL, 0.5 g de sustrato, 90 mL de inóculo ruminal diluido 1:9 (v/v) en una solución mineral reducida compuesta de K_2HPO_4 (0.45 g L⁻¹), KH_2PO_4 (0.45 g L⁻¹), $NaCO_3$ (0.6 g L⁻¹), $(NH_4)_2SO_4$ (0.45 g L⁻¹), $NaCl$ (0.9 g L⁻¹), $MnSO_4$ (0.18 g L⁻¹), $CaCl_2$ (0.12 g L⁻¹), L-cisteína (0.25 g L⁻¹) y Na_2S (0.25 g L⁻¹), y una gota de resazurina (Cobos & Yokoyama, 1995), los frascos fueron colocados en un baño

maría a 39°C y se midió el gas formado a las 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 horas de incubación mediante un manómetro manual (escala de 0 a 1 kg cm⁻²). El líquido ruminal se obtuvo de los 15 corderos alimentados con la dieta control o los diferentes modificadores evaluados.

Con el seguimiento del volumen acumulado de gas de 0 a 72 h de incubación, se calcularon los parámetros de la cinética de fermentación: potencial de fermentación (Vm; mL g⁻¹ MS), la tasa de velocidad de fermentación (S; mL h⁻¹) y el tiempo de retardo (L; h), mediante la aplicación de un modelo logístico (Pitt et al., 1999). Para el cálculo se usó el procedimiento NLIN de SAS versión 9.0 (SAS, 2002).

3.4.5 Actividad de masticación

En el día 38 de la finalización, se midió la actividad de consumo y rumia por 24 h consecutivas haciendo registros cada 5 minutos para determinar el tiempo total de masticación.

3.4.6 Ácidos grasos volátiles (AGV's) y pH ruminal

En el día 39 de la finalización se extrajo líquido ruminal dos horas después de la alimentación mediante una sonda, el pH del rumen se midió inmediatamente después del muestreo, usando un medidor de pH (Beckman modelo 390, Beckman Coulter, Ciudad de México, México). Las muestras de fluido ruminal fueron rápidamente congeladas para detener la fermentación. Para la determinación de AGV's se tomaron muestras de 2 mL por tratamiento y se mezclaron con ácido metafosfórico (25% p/v), en una relación 4:1. Las muestras se centrifugaron por 20 min a 11 000 rpm y del sobrenadante se tomó 1 µL y se inyectó en un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer, modelo Clarus 500) con columna capilar (Elite PFAP) para determinar el contenido de acetato, propionato y butirato (Erwin et al., 1961). Se usó H como gas acarreador a un flujo de 5.5 mL min⁻¹ la temperatura del inyector fue 250°C y la del horno 80°C durante 1 min

con incrementos de $20^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hasta alcanzar 140°C con un tiempo por lectura de 8 min.

3.4.7 Medición grasa dorsal

En el día 50 de finalización se midió el grosor de la grasa dorsal y área de ojo de la chuleta de todo los corderos involucrados en el estudio, con un ultrasonido (Sono Vet 600®, KeeboMed Inc, Illinois, USA) con un transductor de 7.5 MHz.

3.4.8 Análisis estadístico

Los datos de comportamiento productivo y características de la canal fueron analizados usando un diseño de bloques completos al azar, empleando el PROC MIXED del programa estadísticos SAS 9.0 (SAS, 2002). El modelo estadístico utilizado para las variables de desempeño y características de la canal fue el siguiente: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C(B)_{jk} + E_{ijkl}$, donde Y_{ijkl} = es la variable respuesta; μ = media general, A = efecto de tratamiento ($i = 1 \dots 5$); B = efecto fijo de bloque sexo ($j = \text{hembra, macho}$); C(B) = efecto aleatorio de bloque dentro de sexo ($j(k) = \text{hembra (1...4), macho (1...3)}$); E_{ijkl} = error aleatorio. Los datos de digestibilidad aparente, consumo de nutrientes, producción de gas in vitro, contenido de ácidos grasos volátiles y actividad de masticación fueron analizadas empleando un diseño de bloques completos al azar y se utilizó el siguiente modelo: $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + E_{ijk}$ donde Y_{ijk} = es la variable respuesta; μ = media general, A = efecto de tratamiento ($i = 1 \dots 5$); B = efecto aleatorio de bloque ($j = 1 \dots 3$); E_{ijk} = error aleatorio. Cuando se detectaron diferencias entre tratamientos, las medias de mínimos cuadrados fueron comparadas empleando la instrucción PDIFF ajustada para la prueba de Tukey.

3.5 Resultados y discusión

Los datos de desempeño productivo en corral se muestran en el Cuadro 4. La inclusión de MON, MAL, AE o AE+MON no afectó ($p \geq 0.05$) el peso final, ganancia de peso total, grosor de grasa dorsal y área del ojo de la chuleta, sin embargo, el

consumo de materia seca tendió ($p=0.12$) ser mayor (196 g d^{-1}) en MON comparado con AE+MON. La GDP no fue diferente ($p\geq 0.05$) entre tratamientos, aunque numéricamente los corderos alimentados con AE ganaron 22.8% más peso que aquellos sin aditivo en la dieta. La ausencia de diferencias en el desempeño productivo de corderos en finalización por la inclusión de modificadores de la fermentación ya han sido descritas para malato de calcio (Mungói et al., 2012) aceites esenciales (Simitzis et al. 2014) y monensina (25 mg kg^{-1} ; Salinas-Chavira et al., 2010). Cuando se compararon aceites esenciales, levadura viva y malato de calcio en la dieta de corderos de engorda Malekhhahi et al. (2015) tampoco encontraron diferencia en el desempeño. Por el contrario, Aguilera-Soto et al. (2008) si reportaron una mejor ($p\leq 0.05$) GDP en corderos alimentados con monensina (33 mg kg^{-1} ; 240.5 vs 216.2). La diferencia entre el mejor desempeño de la monensina podría estar asociado a la dosis empleada y el perfil nutricional de la dieta. Respecto a las características de la canal los resultados de esta investigación están de acuerdo con Salinas-Chavira et al. (2010) quienes no observaron diferencias en grosor de grasa dorsal o área del ojo de la chuleta de corderos cuando compararon monensina (25 mg kg^{-1}) y salinomycin (28 mg kg^{-1}) con la dieta testigo.

Cuadro 4 Comportamiento productivo de corderos finalizados con una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal.

Parámetro ^y	Modificador de fermentación ruminal ^z					EEM ^x	<i>p</i> ^w
	TES	MON	MAL	AE	AE+MON		
Peso inicial (kg)	23.85	24.11	24.17	22.34	24.35	1.28	0.173
Peso final (kg)	38.32	39.53	39.60	40.10	39.24	1.76	0.783
GT (kg)	14.45	15.20	15.42	17.75	14.88	1.12	0.217
GDP 0-50 d (g)	289.10	303.95	308.52	355.10	297.67	22.45	0.217
CMS (g/d)	1394.92	1508.92	1377.35	1424.49	1313.06	63.40	0.190
CA	4.89 ^a	5.07 ^a	4.52 ^{ab}	4.13 ^b	4.51 ^{ab}	0.20	0.015
EFA	206.93 ^b	199.40 ^b	222.40 ^{ab}	246.44 ^a	225.44 ^{ab}	9.75	0.009
AOC (cm ²)	9.43	8.80	9.22	8.71	8.79	0.58	0.615
GGD (mm)	4.0	4.14	4.14	4.14	4.42	0.38	0.904

a, b, medias en la misma fila sin al menos una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). ^zTES, dieta testigo; MON, monensina; MAL, malato; AE, aceites esenciales; AE+MON, aceites esenciales más monensina. ^yGT, ganancia de peso total; GDP, ganancia diaria promedio; CMS, consumo de materia seca; CA, conversión alimenticia (CMS/GDP); EFA, eficiencia alimenticia; AOC, área del ojo de la costilla; GGD, grosor de grasa dorsal. ^xEEM, error estándar de la media. ^w*p*, nivel de significancia.

El empleo de AE mejoró ($p \leq 0.05$) la eficiencia alimenticia en un 19.1% respecto a la dieta TES y 23.6% respecto a la dieta con MON, aunque no hubo variación significativa con el resto de tratamientos. La conversión alimenticia tendió ($p = 0.06$) a ser menor (76 g) en AE respecto a la dieta testigo y menor ($p \leq 0.05$; 94 g) que MON. Mientras que se no se detectó variación respecto a MAL o AE+MON. Estos resultados difieren de lo reportado por Malekkhahi et al. (2015) quienes no detectaron variación en la conversión alimenticia (4.23) entre aceites esenciales y malto de calcio con la dieta testigo. Esta variación posiblemente se asocia a la composición de la dieta y peso inicial de los corderos utilizados en los estudios (17.5 vs. 23.8). La mejor transformación de alimento en corderos con AE es consecuencia de las mayores ganancias de peso observadas durante el periodo de evaluación.

Durante los 9 días de la fase de medición el consumo de MS y consumo de MS en base a peso metabólico ($\text{g/kg}^{0.75}$) fue mayor ($p \leq 0.05$) en el grupo de corderos alimentados con MAL respecto a AE+MON, 23% y 22.5% respectivamente, pero no se observaron diferencias ($p \geq 0.05$) con el resto de tratamientos (Cuadro 5). Varios estudios y revisiones han reportado que la aplicación monensina (Aguilera-Soto et al., 2008) y aceites esenciales (Patra, 2011) reducen el consumo de materia seca en corderos. En este estudio el uso separado no influyó ($p \geq 0.05$) en el consumo de materia seca, pero la combinación de AE+MON afectó negativamente el consumo, lo que pudiera estar asociado a problemas de palatabilidad y modificación de la microbiota ruminal. El consumo individual de nutrientes no fue diferente entre tratamientos ($p \geq 0.05$), en promedio los corderos consumieron 1001.7 g de MO, 151.9 g de PC, 295.4 g de FDN, 78.5 g de FDA, 27.5 g de EE, y 526.8 g de CNF.

La aplicación de MON, MAL o AE mejoró ($p \leq 0.05$) la digestibilidad de la MS 3.8% en comparación a la dieta sin aditivos y 1.9% respecto a AE+MON. Estos resultados difieren de lo reportado por Malekhhahi et al. (2015) malato y aceites esenciales, o Aguilera-Soto et al. (2008) para monensina. La digestibilidad de la PC tendió ($p = 0.056$) a ser mayor en MAL (9.3%) y AE+MON (7.7%) comparado con TES. No se observó diferencia ($p \geq 0.05$) en la digestibilidad de la MO (83.2%), FDN (64.8%), FDA (43.5%), EE (78.6%), CNF (93.8%). Malekhhahi et al. (2015) reportaron que la inclusión de aceites esenciales incrementa la digestibilidad de la proteína, pero el malato no, mientras que la digestibilidad la FND si se incrementó con aceites o con malato; aunque la digestibilidad FDA y almidón fueron diferentes entre aceites, malato o cultivos de levadura. El aumento en la digestibilidad de la PC con aceites esenciales puede estar asociada a una disminución de la pérdida de N ruminal por una reducción en la tasa de desaminación de AA y un aumento en la PC de sobrepaso (Malekhhahi et al., 2015).

Cuadro 5. Consumo y digestibilidad de nutrientes de una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal en corderos de engorda.

Parámetro ^y	Modificador de la fermentación ruminal ^z					EEM ^x	p ^w
	TES	MON	MAL	AE	AE+MON		
Consumo de MS							
g/d	1093.60 ^{ab}	1213.10 ^{ab}	1258.88 ^a	1148.40 ^{ab}	1023.64 ^b	44.49	0.036
g/kg ^{0.75}	72.68 ^{ab}	79.02 ^{ab}	82.21 ^a	74.83 ^{ab}	67.11 ^b	2.95	0.048
Consumo de nutrientes (g/d)							
MO	951.46	1070.47	1103.88	989.03	893.54	45.97	0.062
PC	144.14	153.78	168.48	151.46	141.80	10.59	0.468
FDN	298.72	316.05	324.84	273.28	264.15	22.47	0.295
FDA	77.97	79.62	85.77	72.65	76.25	6.03	0.588
EE	28.07	26.64	28.18	31.63	23.07	4.68	0.667
CNF	480.52	574.00	582.37	532.66	464.51	28.02	0.057
Digestibilidad (%)							
MS	78.06 ^b	81.81 ^a	82.51 ^a	81.39 ^a	80.01 ^b	1.25	0.011
MO	81.98	83.57	84.20	82.57	83.44	0.89	0.482
PC	71.91	77.24	81.25	76.64	79.57	1.87	0.056
FDN	63.08	70.01	64.96	61.40	64.75	2.67	0.300
FDA	36.77	50.86	40.06	42.53	47.51	8.07	0.199
EE	75.32	77.90	80.52	82.05	77.11	6.86	0.703
CNF	93.59	92.88	95.78	94.42	92.36	0.91	0.141

a, b, medias en la misma fila sin al menos una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). ^zTES, dieta testigo; MON, monensina; MAL, malato; AE, aceites esenciales; AE+MON, aceites esenciales más monensina. ^yMS, materia seca; MO, materia orgánica; PC, proteína cruda; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; EE, extracto etéreo; CNF, carbohidratos no fibrosos. ^xEEM, error estándar de la media. ^w*p*, nivel de significancia.

El $V_{\max}$ registrado en la dieta TES fue inferior ($p \leq 0.05$) 7.5% respecto al promedio (380.8 mL g⁻¹ MS) de la misma dieta con los modificadores agregados, aunque entre los modificadores no se observó diferencia ($p \geq 0.05$). La tasa de producción de gas (S), que refleja la velocidad con la cual los microorganismos del rumen fermentan los componentes del alimento, fue mayor ($p \leq 0.05$; 4.8%) cuando se combinaron la MON y AE respecto a la dieta testigo o la dieta testigo adicionada

con MON, MAL o AE Cuadro 6. La fase Lag (L) o fase de retardo fue inferior ($p \leq 0.05$; 0.85 h) cuando se adicionaron AE y MON a la dieta en comparación a la dieta testigo, en tanto que no se observó ($p \geq 0.05$) diferencia entre MON, MAL o AE. El volumen máximo de gas, tasa de producción de gas y fase de retardo son superiores a lo reportado por Carro et al., (1999) en un estudio con DL-malato. La mejor producción de gas observada en los cultivos adicionados con los distintos modificadores de la fermentación es consistente con las mejoras observadas en la digestibilidad de nutrientes y el comportamiento productivo.

Cuadro 6 Parámetros de la fermentación *in vitro* (72 h) de una dieta para corderos en finalización complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal.

Parámetro ^x	Modificador de la fermentación ruminal ^z					EEM ^x	<i>p</i> ^w
	TES	MON	MAL	AE	AE+MON		
Vmax (mL/ g de MS)	353.75 ^b	374.94 ^a	380.95 ^a	389.56 ^a	377.84 ^a	33.25	<0.001
S (mL/h)	0.045 ^b	0.044 ^b	0.045 ^b	0.045 ^b	0.047 ^a	0.001	0.003
L (h)	2.88 ^a	2.45 ^{ab}	2.69 ^{ab}	2.26 ^{ab}	2.03 ^b	1.01	0.012

a, b, medias en la misma fila sin al menos una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). ^zTES, dieta testigo; MON, monensina; MAL, malato; AE, aceites esenciales; AE+MON, aceites esenciales más monensina. ^yVmax, volumen máximo de gas producido; S, tasa de producción de gas; L, fase lag o de retardo. ^xEEM, error estándar de la media. ^w*p*, nivel de significancia.

El pH del rumen no fue diferente entre tratamientos ($p \geq 0.05$), el promedio el pH ruminal varió de 6.54 a 6.67 (Cuadro 7). Cuando el pH del líquido ruminal es 5.6 o menor, se considera el punto de corte para diagnosticar un animal con acidosis subclínica, mientras que un pH por debajo de 5 es considerado como punto de corte para diagnosticar acidosis clínica (González et al., 2012). En este estudio el valor de pH, en los corderos de las diferentes dietas, estuvo por arriba del 6.54, por lo que no hubo evidencias de acidosis subclínica. Estos valores de pH son ligeramente superiores al rango (5.5 a 5.8) reportados por Gonzalez-Momita et al. (2009) en corderos alimentados con dietas conteniendo monensina o malto de calcio, esta diferencia en lecturas de pH puede asociarse al hecho que la dieta basal de este estudio contenía 15% de forraje, mientras que el estudio de

Gonzalez-Momita et al. (2009) usaron sorgo entero para estimular la rumia, como sustituto de forraje. No obstante las lecturas de pH de este estudio son consistentes con aquellas observadas (6.3 a 6.53) por Malekkhahi et al. (2015) en corderos finalizados con aceites, cultivo de levadura o malato.

Aunque la inclusión de los modificadores en la dieta no mejoro ($p \geq 0.05$) la producción de ácido acético en mM; cuando la producción de acético se expresó en porcentaje molar, el promedio de las dietas con AE o AE+MON fue mayor ($p \leq 0.05$) 5.7% al promedio de las dietas TES o MAL. Gonzalez-Momita et al. (2009) tampoco observaron diferencia en producción de ácido acético cuando utilizaron monensina o malato de calcio. En un estudio con novillos finalizados en corral Meyer *et al.* (2009) observaron que la inclusión de aceites esenciales en la dieta (90 g t^{-1}) incrementó el contenido de acetato 16.5% respecto al grupo control. Sin embargo, Castillejos et al. (2007) no observaron diferencia al evaluar una mezcla comercial del aceites esenciales (CRINA) en un sistema continuo de fermentación.

La producción de ácido propionico fue menor ($p \leq 0.05$; 3.07 mM) en AE respecto al promedio del resto de dietas evaluadas. El promedio de porcentaje molar de ácido propionico fue reducido ($p \leq 0.05$) 7.1% en dietas con AE o AE+MON en comparación a las dietas TES, MON y MAL. Estos resultados son consistentes con Malekkhahi et al. (2015) quienes observaron que corderos suplementados con aceites esenciales (timol, carvacrol, eugenol, limoneno y cinamaldehído; 400 mg/animal/d) tienen una menor proporción molar propionato que aquellos alimentados con malato de sodio. Estos resultados indican que las mejoras significativas observadas en eficiencia alimenticia y mejoras numéricas en ganancia de peso, en los corderos complementados con AE en este estudio, no están relacionadas a una mayor producción de ácido propionico. La similitud de concentración de ácido propionico entre MON y MAL fue también reportado por Gonzalez-Momita et al. (2009). Estudios con malato (Carro et al., 2006) y monensina (Aguilera-Soto et al., 2008) en corderos han observado un a mayor

concentración de propionato respecto al grupo control. El mecanismo de acción del malato de calcio se base en su propiedad de estimular el crecimiento de *Selenomona ruminantium*, esta bacteria es consumidora de ácido láctico, transformándolo en ácido propionico, mientras que el efecto de la monensina consiste en inhibir el crecimiento de *Streptococcus bovis* bacteria productora de ácido láctico (Nisbet y Matin, 1994).

La inclusión de AE+MON tendió ($p=0.065$) a incrementar 2.04 mM el ácido butírico comparado a AE. Cuando se expresó en porcentaje molar, el promedio de ácido butírico en el líquido ruminal de corderos alimentados con la dieta sin aditivos y aquellas con MAL fue 3.7% menor ($p\leq 0.05$) comparado a la dieta con AE.

Estos resultados contrastan con Meyer et al. (2009) quienes ofrecieron una dieta complementada con 90 g t⁻¹ de una mezcla de aceites esenciales a novillos de engorda y no observaron diferencias en la concentración de propionato o butirato en el líquido ruminal; en el mismo tenor, Castillejos et al. (2007) no observaron diferencias en cuanto a la concentración de butirato o propionato.

Cuadro 7 Perfil de ácidos grasos volátiles (AGVs) y pH del líquido ruminal de corderos finalizados con una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal.

Parámetro	Modificador de la fermentación ruminal ^z					EEM ^y	<i>p</i> ^x
	TES	MON	MAL	AE	AE+MON		
pH	6.54	6.67	6.61	6.56	6.57	0.289	0.998
AGV (mM)							
Ácido acético	21.93	20.58	21.62	18.9	26.08	2.54	0.351
Ácido propionico	12.47 ^a	10.00 ^a	12.22 ^a	7.95 ^b	9.38 ^a	1.17	0.045
Ácido butírico	2.13	2.16	2.31	2.07	4.11	0.54	0.065
AGV totales	36.54	32.74	36.16	28.93	39.59	3.94	0.390
AGV (% molar)							
Ácido acético	60.26 ^b	62.76 ^{ab}	59.56 ^b	65.18 ^a	66.04 ^a	1.18	0.0001
Ácido propionico	33.88 ^a	30.79 ^a	34.27 ^a	27.57 ^b	24.25 ^b	1.43	0.0001
Ácido butírico	5.85 ^b	6.49 ^{ab}	6.17 ^b	7.26 ^{ab}	9.7 ^a	0.81	0.018
Acetato:Propionato	1.78 ^b	2.04 ^b	1.78 ^b	2.46 ^a	2.76 ^a	0.15	<0.001

a, b, medias en la misma fila sin al menos una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). ^zTES, dieta testigo; MON, monensina; MAL, malato; AE, aceites esenciales; AE+MON, aceites esenciales más monensina. ^yEEM, error estándar de la media. ^x*p*, nivel de significancia.

El total de AGVs no fue diferente ($p \geq 0.05$) entre dietas, en promedio se produjeron 34.8 mM. La relación acético propionico fue modificada significativamente ($p \leq 0.05$) en las dietas TES, MON y MAL (1.86) vs. las dietas con AE y AE+MON (2.61). Contrario a lo observado en este estudio, Meyer et al. (2009) no observaron cambio significativo en la proporción acético propionico (rango 1.6 a 2.24), sin embargo, Castillejos et al. (2007) si observaron un incremento ($p \leq 0.05$) en la proporción (4.3 vs 3.2) cuando se adicionaron aceites esenciales al medio de cultivo ruminal *in vitro*. La variación en la producción total de AGVs, su concentración y la proporción acetato:propionato en animales tratados de AE depende del tipo de sustrato con el que se estén alimentado los rumiantes (Patra, 2011), el tipo y concentración de los compuestos activos

(carvacrol, anetol, benzil salicilato, cinamaldehído, eugenol, timol) dentro de la mezcla de aceites esenciales, dosis y su actividad antimicrobial contra bacterias gram positivas y negativas (Benchaa et al., 2008).

El tiempo que gastaron los corderos en comer y rumiar, fue similar ($p \geq 0.05$) entre la dietas testigo vs MON, MAL AE o AE+MON. Como consecuencia el tiempo total gastado en la masticación o la proporción del día que el cordero gasto en comer y rumiar no fue diferente ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 8). Estos resultados coinciden con Gonzalez-Momita et al. (2009) en relación al tiempo gastado en consumir alimento, sin embargo, éstos autores si observaron un menor ($p \leq 0.05$) tiempo de rumia de corderos complementados con malato y monensina. En general el tiempo gastado en comer y rumiar superior a lo reportado Gonzalez-Momita et al. (2009). Estas diferencias pueden estar asociadas a que en el estudio de Gonzalez-Momita et al. (2009) no utilizaron una fuente de fibra efectiva en la dieta, mientras que en este estudio se usó rastrojo de maíz como fuente de fibra. Nutricionalmente hablando, la presencia de fibra efectiva estimula la masticación, la producción de saliva y la rumia, en especial la salivación influye en la tasa de dilución y capacidad amortiguante del fluido ruminal (Lu et al. 2005), y esta podría ser una de las causas por las que no se observó variación en el pH ruminal en los diferentes tratamientos evaluados.

Cuadro 8 Tiempos de consumo y actividad de masticación en corderos finalizados con una dieta complementada con tres distintos modificadores de la fermentación ruminal.

Modificador ^z	Actividad de masticación (min/d)			Proporción (%) ^y
	Rumiando	Comiendo	Masticación total	
Dieta testigo	296.67	188.33	485.00	31.59
Monensina	346.67	160.00	506.67	38.45
Malato	380.00	216.67	596.67	37.25
Aceites	375.00	158.33	533.33	34.80
Aceites + Monensina	313.33	163.33	476.67	38.03
EEM ^x	42.17	23.07	35.25	2.66
<i>p</i> ^w	0.577	0.129	0.207	0.333

a, b, medias en la misma columna sin al menos una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). ^zTipo de modificador de la fermentación ruminal. ^yProporción del día invertido en comer y rumiar. ^xError estándar de la media. ^wNivel de significancia.

3.6 Conclusiones

En el presente estudio, el uso de aceites esenciales, monensina sódica, malato de calcio mejoró la producción de gas *in vitro* y la digestibilidad de la materia seca en tanto que sólo los aceites esenciales mejoraron digestibilidad de la proteína cruda y la conversión alimenticia. El uso combinado de aceites esenciales más monensina sódica tienen efectos negativos sobre el consumo, digestibilidad de nutrientes. El uso de aceites esenciales o aceites esenciales más monensina sódica disminuyen la proporción molar de propionato. De acuerdo con los resultados observados el empleo de aceites esenciales o malato de calcio puede ofrecer beneficios similares a los registrados con monensina por lo que pueden ser usados en las dietas de finalización para mejorar el desempeño productivo de corderos.

3.7 Literatura citada

- Aguilera-Soto, J. I., Ramirez, R. G., Arechiga, C. F., Mendez-Llorente, F., Lopez-Carlos, M. A., Silva-Ramos, J. M., Rincon-Delgado, R. M., & Duran-Roldan, F.M. (2008). Effect of feed additives in growing lambs fed diets containing wet brewers grains. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 21(10), 1425-1434.
- Ankom Technology. (2015). Operator's Manual. ANKOM 2000 FIBER ANALYZER. Consultada en <https://www.manualshelf.com/manual/ankom/200series/manualenglish.html>. 16 de Julio de 2016.
- Benchaa, C., Calsamiglia, S., Chaves, A. V., Fraser, G.R., Colombatto, D., A. McAllister, T., & Beauchemin, K. A. (2008). A review of plant-derived essential oil in ruminant nutrition and production, 145, 209-228.
- Carberry, C. A., Kenny, D. A., Kelly, A. K., & Waters, S. M. (2014). Quantitative analysis of ruminal methanogenic microbial populations in beef cattle divergent in phenotypic residual feed intake (RFI) offered contrasting diets. *Journal of Animal Science*, 5(41), 1-9. <http://doi.org/10.1186/2049-1891-5-41>.
- Carro, M. D., Ranilla, M. J., Giráldez, F. J., & Mantecón, A. R. (2006). Effects of malate on diet digestibility, microbial protein synthesis, plasma metabolites, and performance of growing lambs fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal Science*, 84, 405-410.
- Carro, M. D., López, S., Valdés, C., & Ovejero, F. J. (1999). Effect of DL-malate on mixed ruminal microorganism fermentation using the rumen simulation technique (RUSITEC). *Animal Feed Science and Technology*, 79, 279-288.
- Castillejos, L., Calsamiglia, S., Ferret, A., & Losa, R. (2007). Effects of dose and adaptation time of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 132, 186-201.
- Cobos M, A., & Yokoyama M, T. (1995). *Clostridium paraputrificum* var ruminantium: colonization and degradation of shrimp carapaces in vitro observed by scanning electron microscopy. In: Wallas RJ, Lahlou-Kassi A (eds). *Rumen Ecology Research Planning, Proceedings of a Workshop*, Addis Abeba, Ethiopia. International Livestock Research Institute, pp. 151–161.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM, México. 251 p.

- Gonzalez M., M. L. J. (2004). *Efecto del ionoforo (monensina o lasalocida) y malato de sodio en el consumo, digestibilidad y fermentación ruminal en ovinos pelibuey*. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit, México).
- Gonzalez, L. A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K. S. and Ferret, A. (2012). Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Animal Feed Science and Technology*, 172, 66-79.
- Gonzalez-Momita, M. L., Kawas, J. R., García-Castillo, R., Gonzalez-Morteo, C., Aguirre-Ortega, J., Hernandez-Vidal, G., Lu, C. D. (2009). Nutrient intake , digestibility , mastication and ruminal fermentation of Pelibuey lambs fed finishing diets with ionophore (monensin or lasalocid) and sodium malate, 83, 1-6. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.11.008>
- Guzmán T., T. A (2004). *Efecto de la adición de ácido propionico en la conservación de ensilados de saccharina*. (Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Estado de México, México). Consultada en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UACHBC.xis&method=ost&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=100190>
- Lu, C. D., Kawas, J. R., & Mahgoub, O. G., (2005). Fibre digestion and utilization in goats. *Small Ruminant Research*, 60, 45-52.
- Malekkhahi, M., Tahmasbi, A. M., Naserian, A. A., Mesgaran, M. G., Kleen, J. L., & Parand, A. A. (2014). Effects of essential oils yeast culture and malate on rumen fermentation, blood metabolites, growth performance and nutrient digestibility of Baluchi lambs fed high-concentrate diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99, 221-229.
- Mendoza M., G. D., Plata P., F. X., Ramírez M., M., Mejia D., M. A., Lee R., H., & Bárcena G., R. (2007). Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 17, 66-72.
- Meyer, N. F., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Greenquist, M. A., Luebke, M. K., Williams, P., & Engstrom, M. A. (2009). Effect of essential oils, tylosin, and monensin on finishing steer performance, carcass characteristics, liver abscesses, ruminal fermentation and digestibility. *Journal of Animal Science*, 87, 2346-2354.
- Mungóí, M., Flores, C., Casals, R., & Caja, G. (2012). Effect of malate and starch source on digestibility and nutrient balance of growing-fattening lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 174, 154-162.
- Murguía O., M. de la L., Pacheco A., J. A., & Castellanos R., A. F. (2003). La rumenitis causada por acidosis ruminal no afecta a la digestibilidad de los

- nutrimentos en los ovinos Pelibuey. Técnica Pecuaria México, 41(3), 329-336.
- Nisbet, D. J., & Martin, S. A. (1994). Factors affecting L-Lactate utilization by *Selenomona ruminantium*. Journal of Animal Science, 72, 1355-1361.
- NRC. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. The National Academics Press, Washington, USA. 362 p
- Patra, A. K. (2011). Effects of Essential Oils on rumen fermentation, microbial ecology and ruminant production. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 6(5), 416-428.
- Perfkim Elmer Clarus 500 (2015). Operator's Manual. Clarus 500 Gas Chromatograph. Consultada en http://www.upc.edu/sct/documents/equipament/d_171_id-431-2.pdf, 16 de julio de 2016.
- Salinas-Chavira, J., Lara-Juarez, A., Gil-González, A., Jimenez-Castro, J., García-Castillo, R., & Ramírez-Bribiesca, E. (2010). Effect of breed type and ionophore supplementation on growth and carcass characteristics in feedlot hair lambs. Revista Brasileña de Zootecnia, 39(3), 633-637.
- SAS Institute (Versión 9.0). (2002). The SAS system for Windows. Release 9.0. SAS Inst., Cary, NC. USA.
- Simitzis, P. E., Bronis, M., Charismiaudou, M. A., Mountzouris, K. C. & Deligeorgis, S. G. (2014). Effect of cinnamon (*Cinnamomun zeylanicum*) oil essential oil supplementation on lamb growth performance and meat quality characteristics. Animal, 8(9), 1554-1560.
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim Feed Science and Technology, 48(2), 185-197.
- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminant (2th ed.) Devon, RU: Comstock Publishing Associates.

4 ANEXOS: PARTICIPACIONES COMO PONENTE EN CONGRESOS NACIONALES E INTERNACIONALES.

Anexo1. Participación como ponente en el III Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas, Chapingo, México, del 22 al 24 de abril de 2015.



PATRÓN DE ACUMULACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN MILPILLA (*Zea diploperennis* Iltis, Doebley, Guzmán & Pazy) EN OTOÑO-INVIERNO

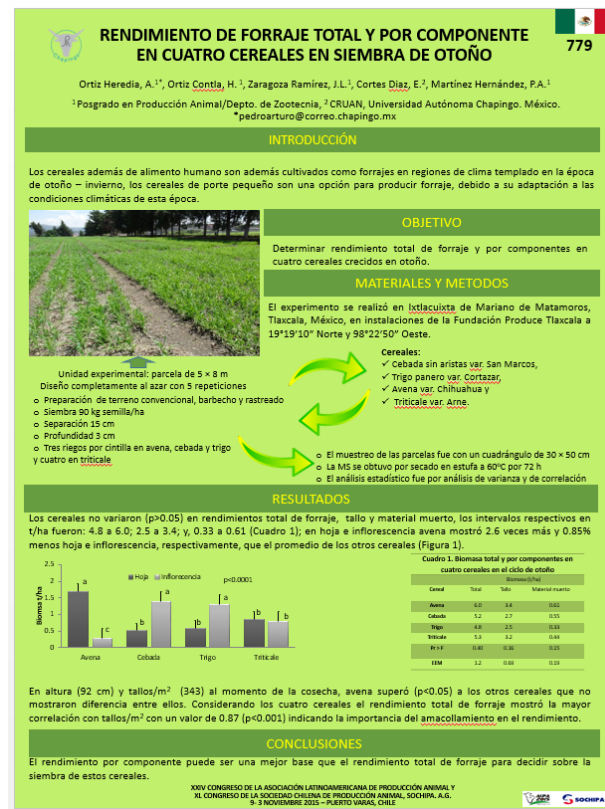
P Martínez Hernández; E Cortés Díaz; J.L. Zaragoza
Ramírez
pedroarturo@correo.chapingo.mx



**III Congreso Internacional
XVII Congreso Nacional de Ciencias
Agronómicas**

Chapingo, México, 22 al 24 de abril de 2015

Anexo 2. Poster del XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Sochipa. A.G. Puerto Varas, Chile, del 9- 13 noviembre 2015 –



Anexo 3 Participación como ponente en el IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas, Chapingo, México, del 20 al 22 de abril de 2016.



Uso de modificadores de fermentación ruminal en la finalización de Corderos

Ortiz H, M.A. ¹; Hernández M, P.A. ¹; Sánchez Del R. C.; Miranda R. L. A.; Vázquez M, O.V. ¹
Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-
Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México. correo-e: heidi_1607@hotmail.com

IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas

Chapingo, México, 20 al 22 de abril de 2015

Anexo 4 Participación como ponente en el VIII Reunión Nacional sobre Agro y Silvopastoriles, Chapingo, México, 24- 26 de agosto de 2016.



Anexo 5 Reconocimiento como ponente en la XLIII Reunión de Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, San Luis Potosí, México, 4-6 octubre de 2016



UASLP



FACULTAD DE
AGRONOMÍA
Y VETERINARIA



AP

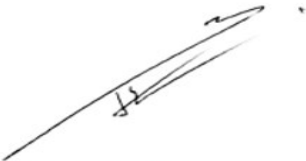
La **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**, a través de la Facultad de Agronomía y Veterinaria y la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A.C., otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

MARÍA ANGÉLICA ORTIZ HEREDIA

Por su invaluable contribución como **Ponente** en la XLIII Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria.

San Luis Potosí, S.L.P., del 4 al 6 de octubre de 2016.
Atentamente
"Siempre Autónoma. Por mi Patria Educaré"



Dr. José Luis Lara Mireles
Director de la Facultad de Agronomía y Veterinaria
Presidente del Comité Organizador



Dr. Ponciano Pérez Hernández
Presidente de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A.C.

Anexo 6 Reconhecimento como ponente en el XXV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XI Congreso Nordestino de Producción Animal, Pernambuco, Recife, Brasil, del 7 al 10 de noviembre 2016.

