



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

QUE PRESENTA:

**El uso de la adición de jabones cálcicos de aceite vegetal poliinsaturado
(coco y linaza) en la alimentación de ovinos para mitigar la producción de
gases de efecto invernadero**

PMVZ: JIMENA SOTOMAYOR ARROYO

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

ASESOR

MC. José Luis Carlos Bedolla Cedeño

CO-ASESOR

Dr. Rodolfo Lucio Domínguez



Morelia, Michoacán., Febrero del 2018



El presente trabajo intitulado “El uso de la adición de jabones cálcicos de aceite vegetal poliinsaturado (coco y linaza) en la alimentación de ovinos para mitigar la producción de gases de efecto invernadero”, forma parte del proyecto de la RED de Investigación en Cambio Climático, Producción y Salud del Ganado Bovino. Financiado por la Secretaría de Educación Pública, durante el año 2015 a 2017, y a través del PRODEP de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo al Cuerpo Académico UMSNH-CA-234.



DEDICATORIA.

Al sector de ovinos y caprinos de la FMVZ Unidad Posta de la UMSNH por darme la accesibilidad a las instalaciones y por toda la ayuda brindada.

A mis asesores .Dr. Rodolfo Lucio Domínguez, MC José Luis Carlos Bedolla Cedeño y Mc. Ángel Raúl Cruz Hernández por apoyarme e instruirme en mi proyecto de titulación, por paciencia y dedicación dentro del desarrollo del proyecto.

Al Dr. Mauricio Perea Peña del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Profesor investigador de la área de la producción animal y Secretario Académico del mismo instituto y encargado de laboratorio # 3, por las facilidades brindadas para la realización del trabajo experimental de la tesis.



AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

A quienes me dieron dos grandes regalos: el primero, la vida y el segundo, la libertad para vivirla. A quienes me hicieron aprender que el amor, el trabajo y el conocimiento deben de ser manantiales de mi existencia, el reflejo fiel del ejercicio de mi decisiones.

A quienes me han enseñado con sus hechos y convicciones que existir es cambiar, que cambiar es madurar, y que madurar es crearse uno a sí mismo constantemente.

Por ello les dedico mi trabajo y mi esfuerzo a mi madre Gloria Arroyo Ponce y a mi padre Macario Sotomayor Alonso de la Sierra.

A mis hermanas:

María Guadalupe Sotomayor Arroyo, por el apoyo que me brindo para terminar mi carrera y que si uno tiene retos, se deben de cumplir pase lo que pase y no decir no puedo. Ella me enseñó a no rendirme en la vida.

Cleotilde Sotomayor Arroyo, por enseñarme a que no rendirme que siempre hay que salir adelante pase lo que pase, y que por mal que este la situación se debe de ver para adelante.

Rosa María Sotomayor Arroyo, por llenar mi vida de alegría y paciencia y por escucharme cuando la necesito.

Les agradezco a mis hermanas por el apoyo siempre brindado en mis días malos y buenos que tengo y que saben cómo me siento mejor, la felicidad de estar juntas y el amor que nos tenemos como hermanas eso jamás va a cambiar.



ÍNDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
1.	Gases de efecto invernadero.....	1
1.1.	Dióxido de carbono (CO_2).....	2
1.2.	Metano (CH_4).....	3
1.3.	Óxido nítrico (NO_2).....	4
1.4.	Clorofluorocarbonos (cfc's).....	4
1.5.	Ozono (O_3).....	4
2.	Efectos de la ganadería sobre la producción de los gei.....	5
3.	Ganadería y emisiones de gei.....	6
4.	Impacto de los hábitos de consumo en emisiones de gei en ganadería.....	7
5.	Digestión ruminal.....	8
6.	Fermentación ruminal.....	10
7.	Proceso de metanogénesis.....	11
8.	Microorganismos ruminales.....	11
8.1.	Uso de las grasas en la dieta de los rumiantes.....	12
8.2.	Ácidos grasos.....	13
8.3.	Aceite y oleínas de soja.....	15
8.4.	Aceite y oleínas de oliva.....	15
8.5.	Aceite y oleínas de girasol.....	15
8.6.	Aceite y oleínas de palma.....	16
8.7.	Aceite de linaza.....	16
8.8.	Aceite y oleínas de coco.....	17
9.	Fuentes de grasas.....	17
9.1.	Grasas reactivas.....	19
9.2.	Grasas inertes.....	19
10.	Salas cálcicas de ácidos grasos.....	20



11. Grasas hidrogenadas	21
11.1. Usos de aceites y grasas protegidas	21
12. Método in vitro	23
II. HIPOTESIS.....	26
III. OBJETIVO.....	26
IV. MATERIAL Y METODOS	27
V. RESULTADOS.....	31
VI. DISCUSION.....	36
VII. CONCLUSIONES.....	37
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	38



RESUMEN

Evaluar el uso de la adición de jabones cálcicos de aceite vegetal poliinsaturado (coco y linaza) en la alimentación de ovinos para mitigar la producción de gases de efecto invernadero. Dicha investigación se realizó en las instalaciones de la FMVZ-UMSNH, unidad posta, la cual se encuentra ubicada en la carretera Morelia-Zinapécuaro, Km 9.5, en el municipio de Tarímbaro, Michoacán. Se evaluó la producción de gas in vitro de los alimentos administrados en la dieta de los ovinos (rastroy de maíz y salvado), a los cuales se les administraron las concentraciones de 10, 20 y 30% de jabones cálcicos de aceite (coco y linaza). Para la incubación de las muestras se utilizaron frascos de 125 ml de vidrio, en los cuales se depositaron el 10% del líquido ruminal extraído, 90%, se incubó a una temperatura de 39°C durante 96 hrs y se realizó la medición con un transductor de presión. Se encontró que mediante la administración del 30% de jabón cálcico con aceite de linaza con una dieta basada en salvado, se ve mitigada la producción de gases de efecto invernadero, en comparación con el 10 y 20%. Se concluye que el jabón cálcico con aceite de linaza al 30% con la alimentación basada en salvado presentó mayor disminución en los gases de efecto invernadero comparada con los demás niveles de inclusión, el 10, 20, 30% jabón cálcico con aceite de coco con la alimentación basada en rastroy y salvado, el 10, 20, 30% jabón cálcico con el aceite de linaza con la alimentación basada en rastroy.

Palabras clave: Gases de efecto invernadero| cambio climático| Mitigación| Alimentación de ovinos| jabones cálcicos de aceite vegetal.



ABSTRACT

The present investigation was carried out in order to demonstrate that the use of the addition of calcium soaps of polyunsaturated vegetable oil (coconut and linseed), works as a viable option to the problem of the production of greenhouse gases, this having the function of mitigating them. This investigation was carried out at the facilities of the FMVZ-UMSNH, posta unit, which is located on the Morelia-Zinapécuaro highway, Km 9.5, in the municipality of Tarímbaro, Michoacán. The in vitro gas production of the foods administered in the diet of the sheep (maize stubble and bran) of the FMVZ of the UMSNH was evaluated, to which they were administered the concentrations of 10, 20 and 30% of calcium soaps. of oil (coconut and linseed). For the incubation of the samples, bottles of 125 ml of glass were used, in which 10% of the ruminal liquid extracted was deposited, 90% of: buffer solution, macromineral solution and micromineral solution; where resazulin and L-cysteine are added; to which 0.800 mg of total food will be weighed, this is incubated in the immersion bath at 39 ° C, a sample of calcium soaps of oil (coconut and linseed) is added, it was left incubating at a temperature of 39 ° C during 96 hrs and the measurement was made with a pressure transducer. As results were obtained that by administering 30% of calcium soap with flaxseed oil with a bran-based diet, greenhouse gas production is mitigated, compared to 10 and 20%; as with the one that produces the food on its own. Regarding the bran-based diet, the option for which the gas production is mitigated is when 30% calcium soap with linseed oil is added to the in vitro incubation.

Key words: Greenhouse gases, Climate change, Mitigation, Feeding Sheep, calcium soaps vegetable oil.



U.M.S.N.H

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA





I. INTRODUCCIÓN

1. GASES DE EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero se refiere a un mecanismo por medio del cual la atmósfera de la tierra se calienta. El calentamiento global ha ido de la mano con una tendencia hacia un incremento de los gases de CO_2 , CH_4 , N_2O , entre otros (Caballero , *et al.*, 2007).

Existen gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. Su concentración atmosférica es baja, pero tienen una importancia fundamental en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, haciéndola permanecer en un rango de valores aptos para la existencia de vida en el planeta. Los gases de invernadero más importantes son: vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2) metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) clorofluorocarbonos (CFC) y ozono (O_3)⁷⁸. El cambio climático es un fenómeno de gran relevancia, por sus implicaciones sobre los diversos aspectos de la economía de cualquier país; particularmente, en la ganadería mexicana, el impacto negativo es evidente (Morgan, 2003).

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Están clasificados en GEI directos.

GEI Directos: Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados. En cuanto a la distribución por tipo de gas, el CO₂ sigue siendo el principal gas emitido (81% del total), seguido del CH₄ (11%), del N₂O (5%). El conjunto de gases fluorados constituye el 3% del global de las emisiones en términos de CO₂-eq (Minaet, 2009).

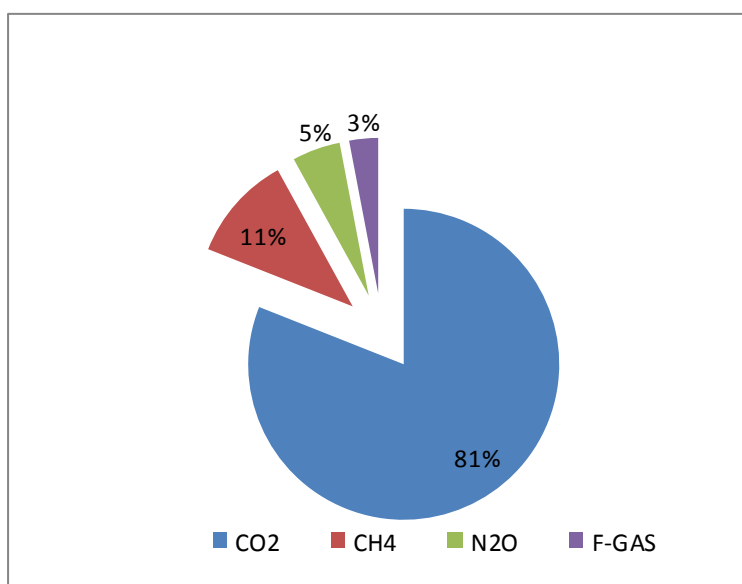


Grafico1. Distribución de las emisiones GEI por gas en 2015.

1.1. DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El dióxido de carbono es actualmente responsable de más del 54% del efecto "ampliado" de invernadero. Este gas se da naturalmente en la atmósfera, pero la combustión de carbón, petróleo, gas natural está liberando el carbono almacenado en estos "combustibles fósiles" a una velocidad sin precedentes. Análogamente, la deforestación libera el carbono almacenado en los árboles. Las emisiones anuales actuales ascienden a más de 7,7 mil millones de toneladas métricas de dióxido de carbono, o sea, casi el 1% de la masa total de dióxido de carbono de la atmósfera. El 75% del CO₂ emitido a la atmósfera por el hombre se

debe a la combustión de combustibles fósiles (energía y transporte principalmente) y en un 25% a cambios de usos del suelo y deforestación.

El dióxido de carbono producido por la actividad humana penetra en el ciclo natural del carbono. Cada año, se intercambian de forma natural muchos miles de millones de toneladas de carbono entre la atmósfera, los océanos y la vegetación terrestre. Los intercambios en este sistema natural masivo y complejo están equilibrados con precisión; los niveles de dióxido de carbono atmosférico parecen haber variado en menos del 10% durante los 10.000 años que precedieron a la industrialización. Sin embargo, en los 200 años que siguieron a 1800 la concentración aumentó de 282ppm a 380ppm, lo que supone un 36% de aumento. Aun cuando la mitad de las emisiones de dióxido de carbono producidas por la actividad humana es absorbida por los océanos y la vegetación terrestre, los niveles atmosféricos siguen aumentando, y desde 1900 hasta la actualidad su concentración ha aumentado en 82 ppm, lo que supone un crecimiento de 29% en poco más de 100 años.

La situación aún presenta otro inconveniente, si se considera que el dióxido de carbono en la atmósfera se estima que permanece de 100 a 300 años, por lo cual, aunque las emisiones se detuvieran ahora mismo, las concentraciones de CO₂ no disminuirán, sino que se mantendrán estables por lo menos algo más de un siglo.

1.2. METANO (CH₄)

El metano de las emisiones pasadas actualmente contribuye en un 12% al efecto ampliado de invernadero. El rápido aumento del metano comenzó más recientemente que el del dióxido de carbono, pero la contribución del metano se le ha ido poniendo a la par rápidamente, estimándose que su concentración atmosférica se incrementó en un 100%. Sin embargo, el metano tiene un tiempo de vida atmosférico efectivo de sólo 7-10 años, mientras que el dióxido de carbono persiste durante un periodo mucho más prolongado (McCaughey *et al.*, 1997; Moss *et al.*, 2000).



Para tener en cuenta las diferencias en la absorción del calor entre los gases, se ha introducido el concepto de calentamiento global potencial, en el que todos los gases se comparan con el CO_2 , que tiene un potencial de calentamiento global de 1; pero el metano tiene un potencial de absorción 23 veces mayor al del dióxido de carbono, por lo que concentraciones menores de este gas contribuyen igualmente de manera considerable al calentamiento global.

El metano proviene principalmente de las actividades ganaderas, pantanos, digestión de los seres vivos, la biomasa (matería viva), los arrozales, los escapes de la gasolina y la industria minera.

1.3. ÓXIDO NITROSO (NO_2)

Los niveles de óxido nitroso se han elevado en un 15%, principalmente debido a una agricultura más intensiva, además la deforestación y la combustión de combustibles fósiles. El óxido nitroso es 296 veces más eficiente absorbiendo calor que el CO_2 . Su contribución al efecto invernadero se estima en un 6%, y su vida alcanza los 140-190 años.

1.4. CLOROFLUOROCARBONOS (CFC'S)

Los clorofluorocarbonos (compuestos del flúor) fueron usados durante largo tiempo como refrigerantes y propelentes en los aerosoles, también en sistemas de aire acondicionado y espumas plásticas. Contribuyen al 7% del efecto invernadero y permanecen 65-110 años en la atmósfera.

1.5. OZONO (O_3)

El ozono es un estado alotrópico de los átomos de oxígeno, por lo que tiene propiedades químicas y físicas diferentes. La más importante de ellas tal vez resida en que presente en pequeñas concentraciones en la atmósfera puede reflejar una gran proporción de los rayos ultravioletas que se dirigen a la Tierra. Sin embargo, también contribuye al efecto invernadero al retener los rayos

infrarrojos que escapan del planeta, su contribución al efecto invernadero es del 12%.

Las emisiones de (CH_4) por el ganado bovino, aproximadamente están calculadas en 58 MMt/año, lo que corresponde al 73% del total de emisiones (80 millones) equivalente a las especies domésticas (Kurihara et al, 1999; Johnson y Johnson 1995). Entre los principales animales domésticos responsable de la producción aproximada del 15% de (CH_4) global, se encuentra el ganado bovino. Entre otros contribuyentes representativos tenemos, el (10%) de combustión de biomasa, el (14%) de pérdidas por combustión de hidrocarburos, (20%) de cultivos de arroz, y el (21%) de los pantanos naturales (McCaughey et al., 1997; Moss et al., 2000).

2. EFECTOS DE LA GANADERIA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LOS GEI

El sector pecuario representa una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, estos gases son emitidos al ambiente mediante la vía rectal, el eructo y la respiración. El gas más estudiado es el metano, por sus efectos nocivos y por ser el segundo más abundante (Rotger , 2004), surge como producto final de la fermentación que sufren los animales como los ovinos, caprinos y bovinos en el rumen. El CH_4 y el CO_2 son subproductos naturales de la fermentación microbiana de los carbohidratos y, en menor medida, de los aminoácidos (AA) en el rumen y el intestino grueso de los ovinos, caprinos y bovinos (Gerber, et al., 2013).

Emisiones globales de gases de efecto invernadero, diferentes al CO_2 , provenientes del ganado sin lugar a dudas, el sector pecuario representa una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, al generar dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) a lo largo del proceso productivo. El ganado contribuye con el cambio climático al emitir GEI, bien sea directamente (P. ej., a través de la fermentación entérica o el estiércol) o indirectamente (Steinfeld et al., 2009).

La producción animal es una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero en todo el mundo, representadas con el 18%; dentro del cual se

destaca el metano, este fundamentalmente producido por la digestión de los rumiantes(ovinos, caprinos y bovinos) (Pierre, 2013).

La creciente población mundial y el incremento en la demanda de alimentos plantean importantes retos para la agricultura, donde la producción mundial tendrá que aumentar en un 60% para el 2050; usando tierras que ya están siendo cultivadas, todo esto bajo primicia de producir más, utilizando menos recursos naturales y al tiempo hacer frente a un clima cambiante.

Por lo tanto, el objeto de la agricultura va desde lo productivo hacía el desarrollo rural, medioambiental y de justicia social, ya que esta actividad es directamente responsable del 14% del gas de efecto de invernadero, y promueve un 17% adicional por cambio en el uso de la tierra.

En cuanto a la ganadería, emplea la mayor cantidad de suelos de vocación agrícola (80% en pastos y forrajes) y el 8% del agua que se utiliza en el mundo; genera el 37% de gas metano (CH_4) provenientes de la fermentación entérica y del estiércol, 9% del total del CO_2 , 65% de las emisiones globales de óxido nitroso (N_2O) y emite el 64% del amoníaco global, por lo que la sostenibilidad de los sistemas ganaderos es cada vez más preocupante, enfrentando la necesidad de crear ambientes eco-eficientes para la adaptación al cambio climático (Morales *et al.*, 2016).

3. GANADERÍA Y EMISIONES DE GEI

Al nivel mundial, el sector ganadero es el mayor contribuyente de emisiones de GEI (expresadas en CO_2eq) provenientes de actividades antropogénicas, con 18%, incluso superior al sector transporte (Steinfeld *et al.*, 2006). Los GEI de mayor importancia en sistemas ganaderos son aquellos que están relacionados con los procesos de fermentación entérica de bovinos (CH_4), manejo de estiércol (CH_4 , NO_2), fertilización de pasturas (NO_2) y consumo de combustibles fósiles (CO_2) (Watson *et al.*, 1990).

Estrategias de mitigación de GEI en ganadería (Cottle *et al.*, 2011) sugieren que las opciones de mitigación de CH_4 por fermentación entérica pueden dividirse en



tres grupos, el primer grupo se enfoca en la ecología y manipulación del rumen, en la que se incluye los usos de aditivos y mejorar la calidad del forraje. El segundo grupo de estrategias hace referencia al mejoramiento genético de los animales, mientras que el tercero considera las prácticas de manejo de la ganadería, enfocando las estrategias en mejorar los procesos de reproducción, manejo de pastoreo y engorde (Cottle *et al.*, 2011).

Por su parte, Gerber *et al.*, (2013), a través de una revisión de literatura mencionan que la inclusión de concentrado en la dieta, la mejora de la calidad del forraje y el manejo del pastoreo pueden tener una efectividad de 0 a 30% en la reducción de emisiones de CH_4 por fermentación entérica. En cuanto a las estrategias de mitigación de N_2O , Gerber *et al.*, (2013), mencionan que el tipo de manejo, almacenamiento y aplicación de excretas influyen en las emisiones de CH_4 y otros compuestos nitrogenados. Sin embargo, estos factores inciden mínimamente en las emisiones de N_2O , por lo que mencionan que el tiempo que los animales pasan en potreros, y la calidad de la dieta, pueden tener efecto en la reducción de emisiones.

4. IMPACTO DE LOS HÁBITOS DE CONSUMO EN EMISIONES DE GEI EN GANADERÍA

En su reporte “Ganadería mundial 2011 La Ganadería y la seguridad Alimentaria”, la FAO menciona que la ganadería aporta el 12,9% de las calorías mundiales y el 27% de las proteínas, estas suministradas en forma de carne, leche y huevos (FAO 2012). Este mismo reporte menciona que para el año 2007, la producción de carne vacuna y leche ha aumentado en un 180 y 178% respectivamente en relación con la producción registrada para el año 1967. La revisión del año 2008 al informe de las Naciones Unidas, sobre las perspectivas de la población mundial, menciona que la población mundial sobrepasará los 9 billones de personas para el año 2050 (United Nations 2009). Este crecimiento en la población significaría un incremento del 158% en el consumo de carne bovina y leche, en relación con el consumo del 2010 (FAO 2012).



Según Steinfeld *et al.*, (2006), la ganadería es responsable del 18% del total de emisiones antropogénicas, si el incremento en la producción de productos derivados de la ganadería responde al incremento en la demanda de estos productos, cabe preguntarse cómo influyen los hábitos de consumo actuales en las emisiones de GEI provenientes de actividades ganaderas. (Bradshaw y Brook, 2014), al modelar las consecuencias a futuro de planes de control de crecimiento de la población mundial a través de limitar las tasas de natalidad, concluyeron que estos esfuerzos por sí solos no son suficientes para mitigar los problemas ambientales de la actualidad. Sus hallazgos consideran que los esfuerzos de la sociedad serían más productivos si se dirigen hacia reducir la huella ecológica tanto como sea posible, así como alentar a la reducción en el consumo per cápita de bienes no renovables y encontrar maneras inteligentes de conservar la biodiversidad y los ecosistemas (Bradshaw y Brook, 2014).

5. DIGESTIÓN RUMINAL.

El rumen, uno de los pre-estómagos de los rumiantes, es una cámara en donde se fermentan anaeróbicamente los carbohidratos estructurales (celulosa) de los pastos, por acción de millones de bacterias y protozoarios, dando como resultado: CO_2 , CH_4 , calor y ácidos grasos de cadena corta. En la mezcla de gases del rumen, el CO_2 participa con 65% y el metano con 27% aproximadamente, aunque están presentes otros gases, en menor proporción. Una vaca de 500 kg de peso puede producir entre 400-450 litros de metano por día (Rangel, 2016).

El éxito ecológico de los rumiantes se debe a los beneficios de la fermentación pre gástrico. El término fermentación se refiere al metabolismo microbiano en ausencia de oxígeno que convierte a los carbohidratos en productos orgánicos como los ácidos grasos volátiles (AGV), ácido láctico y etanol. Estos productos retienen la mayor parte de la energía original en el sustrato, una consecuencia de la falta de oxígeno para su oxidación completa a dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y energía (ATP).



Se plantea que la fermentación ruminal le concede al rumiante una serie de ventajas que no poseen los animales monogástricos dentro de las cuales se encuentran:

- 1) Utilizar alimentos que son muy fibrosos para los no rumiantes.
- 2) Degradar la celulosa liberando el contenido celular, convirtiendo la celulosa en un nutriente primordial.
- 3) Sintetizar proteína microbiana de alto valor biológico a partir de proteína vegetal de bajo valor biológico, del nitrógeno no proteico de la dieta y del reciclaje de productos metabólicos de desecho (urea).
- 4) Proveer todas las vitaminas del complejo B siempre y cuando exista la concentración adecuada de cobalto para la síntesis de vitamina B₁₂.

Como es de suponer no todo son ventajas por lo que a continuación se relacionan algunas de las desventajas que puede tener la digestión ruminal:

- 1) El rumiante necesita pasar una buena parte del día (aprox. 8 h) rumiando y debe tener acceso al alimento a intervalos regulares.
- 2) El rumiante necesita mecanismos complejos para mantener su cámara de fermentación trabajando eficientemente por ejemplo: a) Adición continua de grandes cantidades de saliva con naturaleza alcalina. b) Movimientos de mezclado con tono marcado de los compartimentos gástricos. c) Mecanismos para la eliminación de gases producto de la fermentación (eructo), para la regurgitación (rumia) y para la absorción de los productos finales de fermentación, así como para el paso de partículas no digeridas hacia el omaso.
- 3) Las rutas metabólicas deben ser capaces de utilizar los particulares productos finales de la fermentación, los AGV's, de los cuales sólo el ácido propiónico es el único que puede convertirse en glucosa, cuyo requerimiento es elevado en etapas como final de gestación y lactación.

Por lo que se considera al proceso de fermentación como ineficiente desde el punto de vista energético, ya que las bacterias gastan energía para su

mantenimiento lo cual se traduce como calor lo cual se considera una pérdida de energía para el rumiante (Díaz *et al.*, 2008).

6. 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 ruminales (Díaz *et al.*, 2008). La importancia de dichos microorganismos ruminales se puede argumentar en el hecho de que cada 15 kg de materia seca consumidos por el animal, 10 kg son degradados y fermentados por los microorganismos ruminales.

En los rumiantes, como en los ovinos, caprinos y bovinos la presencia de bacterias, protozoarios y hongos le permite cubrir hasta el 100% de sus requerimientos energéticos a partir de carbohidratos estructurales como celulosa y hemicelulosa, al mismo tiempo que le permite utilizar fuentes de nitrógeno no proteínico (urea, amoníaco) para cubrir una parte de sus necesidades de proteína, además, lo hace independiente de una suplementación de vitaminas hidrosolubles para cubrir sus requerimientos (Díaz *et al.*, 2008).

La producción de metano se incrementa con la digestión de la fibra, debido al aumento en la cantidad de ácido acético en relación al ácido propiónico, así los forrajes más digestibles y fibras de calidad como la cascarilla de soya generan mayor cantidad de metano. Mientras que la fermentación de almidón genera cambios en pH ruminal, no aptos para el desarrollo de metanogénicas y mayor producción de ácido propiónico, debido al estímulo de bacterias amilolíticas, lo que conduce a una disminución en la generación de metano (Aguilar, 2014).



7. PROCESO DE METANOGENÉISIS

El metano se forma en el rumen por la acción de las bacterias metanogénicas que reducen el CO_2 de las cuales hablaremos en acápite posteriores. Se considera el ácido fórmico como la fuente más probable de hidrógeno para que ocurra esta reacción. El metano constituye una pérdida energética considerable, ya que representa entre 7 y 8 % de la energía bruta consumida. Las pérdidas que originan la producción de metano pueden fluctuar entre 2.5-33 millones de t de alimento anuales (Ruiz y Dearriba, 1987). El metano constituye además un gas contaminante del ambiente. Se ha estimado que la población de rumiantes del mundo produce 77, 000 000 t de metano anualmente, lo cual constituye alrededor del 15 % de la emisión total del gas atmosférico, por lo que disminuir su producción, a través de una mejora en la eficiencia de la fermentación ruminal, debe ser objetivo principal en la ganadería tropical (Díaz *et al.*, 2008).

8. MICROORGANISMOS RUMINALES

Los microorganismos ruminales han habitado en él durante poco más de 70 millones de años y se ha formado una relación de ecología (Oekologie, del griego oikos que significa “casa” y logos “ciencia”) ruminal, donde el rumen es un ecosistema microbiano con complejas interrelaciones. El sistema microbiano ruminal es un activo proceso regulado mediante complejos mecanismos bioquímicos. En el rumen existe una fase gaseosa donde podemos encontrar metano (CH_4) y CO_2 , y otra acuosa que tiene dos estratos: estrato ventral (90 % agua y 10 % MS), donde están las partículas de alimento de mayor densidad y de forraje con más de 12 h de digestión; estrato superior (80 % agua y 20 % MS) conformado por un manto de forraje de baja densidad. Por tanto, los estratos difieren en composición y actividad microbiana; en la fase acuosa los microorganismos son anaerobios estrictos, con una menor cantidad de anaerobios facultativos. Las bacterias forman la mayor parte de esos microorganismos, hay un máximo de 40 % de protozoarios y menos de 8 % de hongos. Cheng y Costerton (1980), postularon que los microorganismos del rumen pueden ser clasificados en tres grupos: (I) los microorganismos que se adhieren a la pared del rumen, (II) los que viven libremente y (III) los que están adheridos a las partículas del alimento.

Este último grupo representa 75% del total de microorganismos ruminales y desde el punto de vista ecológico son los que presentan las mayores ventajas, ya que los otros pueden ser removidos del rumen más rápidamente por el flujo de la digesta. Un factor importante para alcanzar una actividad microbiana óptima es que los microorganismos dispongan de los sustratos necesarios para su mantenimiento y crecimiento. En ausencia de energía fermentable y algunos otros nutrientes exógenos, el 60% de las bacterias ruminales podrían morir en un lapso de tiempo de 2 horas y alrededor del 30% o más podrían lisiarse debido a la inanición. Por tanto, es necesario garantizar energía y nitrógeno suficiente y además minerales, vitaminas, péptidos y aminoácidos, si se quiere obtener una velocidad de digestión de la fibra y una síntesis de proteína óptima (Díaz *et al.*, 2008).

8.1. USO DE LAS GRASAS EN LA DIETA DE LOS RUMIANTES.

El término referido a grasas se ha empleado para referirse tanto a grasas como aceites. Ambas son constituyentes de las plantas y animales, y su función principal es el aporte de energía o aislante térmico. Ambos tienen la misma forma estructural, sin embargo difieren en las propiedades físicas y químicas. Los aceites son líquidos en el medio ambiente, en contraste con las grasas que tienen una consistencia semisólida o sólida a temperatura ambiente, teniendo en común la insolubilidad en el agua y solubilidad en solventes orgánicos. Dentro de la clasificación química tanto las grasas y los aceites se clasifican dentro del grupo de los lípidos y constituyen un grupo numeroso dentro de estos (Chapman, 1992).

Los lípidos son sustancias que se encuentran en tejidos animales y vegetales, están compuestos de carbono, hidrogeno y oxígeno, y pueden actuar como transportadores de sustratos en reacciones enzimáticas, componentes de membranas celulares, fuente y almacén de energía (Lodish *et al.*, 2005).



8.2. ACIDOS GRASOS.

Los lípidos están constituidos por ácidos grasos, que son una cadena hidrocarbonada lineal larga con un extremo terminal carboxilo. Los ácidos grasos se diferencian por la longitud de cadena de átomos de carbono (entre 4 y 22) y el número de enlaces dobles que tienen. La gran mayoría de los ácidos grasos tanto de la dieta como del organismo contienen de 16 a 18 átomos de carbono. De acuerdo al número de dobles enlaces que contienen se clasifican como ácidos grasos saturados (si no contienen dobles enlaces), ácidos grasos Mono insaturados (si contienen un doble enlace) y ácidos grasos poliinsaturados (si contienen dos o más de dobles enlaces). Los ácidos saturados se caracterizan por ser sólidos a temperatura ambiente, los insaturados suelen ser líquidos ya que su punto de fusión es más bajo. Cuando hay un doble enlace en la cadena pueden presentarse dos formas de ácidos grasos en función de la disposición en el espacio de los átomos de hidrogeno unidos a los átomos de carbono de doble enlace: Cis: cuando los dos átomos de hidrogeno se encuentran en el mismo lado del doble enlace. La mayoría de los ácidos grasos se encuentra en la naturaleza son de este tipo. Trans: cuando el enlace se encuentra uno a cada lado (Enríquez *et al.*, 2003).

Los ácidos grasos poliinsaturados se pueden clasificar en cuatro familias según en donde se encuentre el primer enlace en la cadena empezando a contar por el extremo del grupo metilo: n-3 (ω -3), n-6 (ω -6), n-7 (ω -7), y n-9 (ω -9) (Berg *et al.*, 2008).

Los ácidos grasos de la familia n-7 se sintetizan a partir del ácido palmítico. Los de la familia n-9 del ácido esteárico. Estas dos familias no son consideradas como ácidos grasos esenciales ya que pueden sintetizarse en el organismo (Chapman, 1992).

Los ácidos grasos n-3 y n-6 son considerados como esenciales, debido a que su ingesta es indispensable ya que no pueden ser sintetizados en el organismo en cantidad suficiente. Estos ácidos grasos tienen funciones específicas dentro del



organismo, como es dar fluidez y elasticidad de las membranas celulares, expansión y contracción cuando es necesaria, además de encontrarse involucrados en el desarrollo cerebral, crecimiento, visión y reproducción (Enríquez *et al.*, 2003; Lodish *et al.*, 2005).

Los ácidos grasos esenciales son también fuente de otros ácidos grasos que contienen veinte carbonos como el ácido eicoesapentanoico (EPA 20:5 ω - 3) y docosahexanoico (DHA 22:6 ω - 3). Los eicosanoides son sustancias de tipo hormonal que regulan diversas funciones fisiológicas como la coagulación sanguínea, presión sanguínea, la contracción de la musculatura lisa y respuesta inmune (Stryer, 2001).

Los ácidos grasos cumplen diversas funciones metabólicas, pueden ser estructurales como fosfolípidos de membrana, formar parte de un segundo mensajero como el fosfatidil inositol, en la síntesis de prostaglandinas, o aportar el colesterol necesario para la síntesis de hormonas esteroideas (Lodish *et al.*, 2005).

En la naturaleza se pueden encontrar ácidos grasos libres como el acético, el butírico y caproico, los cuales se encuentran en estado libre en la leche y se clasifican dentro de los ácidos grasos saturados. Grasas vegetales procedentes de frutos y semillas. Incluimos en este apartado los aceites y oleínas de soja, girasol, colza, oliva y palma. Otras fuentes de interés son los aceites de maíz y coco y las oleínas de algodón. Como ya quedó detallado con anterioridad, las oleínas tanto vegetales como animales tienen una menor digestibilidad y por tanto un menor valor energético en monogástricos que los aceites de los cuales proceden. En estas especies, los monoglicéridos resultantes de la digestión enzimática de los triglicéridos son más polares y por tanto facilitan la formación de micelas más que los ácidos grasos libres. En rumiantes las diferencias no son importantes y la disponibilidad del aceite (libre o contenido en la semilla) o la instauración de los ácidos grasos son los factores a considerar (Berg *et al.*, 2008).

8.3. ACEITE Y OLEÍNAS DE SOJA

El aceite de soja es la grasa de origen vegetal de mayor disponibilidad en el mercado español. Procede de la industria del haba de soja tras la extracción previo al refinado del aceite para consumo humano. En función de los precios de las grasas en los mercados mundiales, es frecuente encontrar ofertas competitivas en el mercado nacional. Como consecuencia de su estructura química, insaturación y contenido en triglicéridos es la fuente lipídica de elección en animales jóvenes, como pollitos de primera edad y lechones destetados precozmente (Monari, 1994). Aparte de su alta digestibilidad, el aceite de soja utilizado en la industria de piensos es crudo, lo que significa que lleva las gomas incorporadas. Estos componentes son muy ricos en colina, fosfolípidos, antioxidantes y vitamina E, lo que favorece la digestibilidad y la conservación durante el almacenaje. Otro punto de interés es su alto contenido en linoleico, que le hace especialmente aconsejable en piensos para ponedoras en base a cereales blancos, por su efecto sobre el tamaño del huevo (Moallem *et al.*, 2013).

8.4. ACEITE Y OLEÍNAS DE OLIVA

Proceden de la industria de la aceituna. Las oleínas se obtienen mediante procesos de refinado puramente físicos, que incluyen un prensado y posterior destilación de los ácidos grasos presentes en el aceite (Christakis *et al.*, 1982). Por cuestiones de precio, sólo las oleínas son ofertadas a la industria de piensos. Estas oleínas se caracterizan por su alto contenido en oleico (rango entre 65 y 82%) y un aceptable aunque amplio rango en linoleico (entre 4 y 17%). Su contenido en insaponificables suele ser elevado, debido en parte al alto contenido en esqualenos. Su valor energético es inferior al de las oleínas de soja.

8.5. ACEITE Y OLEÍNAS DE GIRASOL

Son productos abundantes en el mercado español. El aceite rara vez se oferta como tal, pero su uso es frecuente como parte de la semilla entera. Es un aceite muy insaturado, con mayor contenido en linoleico que el aceite de soja (58 % vs 53 %), por lo que su valor energético es ligeramente superior en monogástricos

jóvenes. Por el mismo motivo, las oleínas puras de girasol son de alto valor nutricional en monogástricos, aunque su uso deba restringirse en rumiantes de alta productividad. En los últimos años han aparecido en el mercado semillas híbridas ricas en oleico (superior al 80%) y por tanto pobres en linoleico (inferior al 5-6%). El contenido energético de estos aceites y oleínas, aunque inferior al del girasol clásico, sigue siendo elevado ya que es la instauración y no solamente el contenido en ácido linoleico el factor a considerar.

8.6. ACEITE Y OLEÍNAS DE PALMA

Son grasas sólidas a temperatura ambiente caracterizadas por su alto contenido en palmítico y bajo-medio en linoleico. No debe confundirse el aceite de palma con el aceite de palmiste. El primero se obtiene de la pulpa del fruto. El aceite de palmiste se obtiene de la almendra y se caracteriza por su alto contenido en ácidos grasos saturados de cadena muy corta, con más de un 60% de láurico más mirístico (Scheele *et al.*, 1995). El aceite de palma es un producto de importación rara vez utilizado en alimentación animal. Por su alto precio, su uso se restringe a productos lácteos reengrasados. Las oleínas, sin embargo, son de uso común en piensos. Las presentaciones comerciales son distintas, variando el contenido en ácidos grasos libres entre el 50% (oleínas de palma) y más del 90% (hidrolizados de palma). A veces el producto se oferta parcialmente hidrogenado. A mayor hidrólisis e hidrogenación, menor valor energético en monogástricos. Las oleínas se obtienen durante el proceso de refinado del aceite, que es un procedimiento de naturaleza física. Una vez hidrogenadas parcialmente, o en forma de jabón, son lípidos de elección en alimentación de rumiantes (Coronado *et al.*, 2006).

8.7. ACEITE DE LINAZA

Procede de la semilla de lino y normalmente se utiliza en la industria de pinturas y barnices. Recientemente su uso se ha visto incrementado en piensos para ponedoras debido a su alto contenido en ácido linoleico de la serie omega-3 (en torno al 50%). Sin embargo, la transformación del linoleico dentro del organismo animal en ácidos grasos de interés (DHA y EPA) no es muy eficiente, por lo que el



uso de este aceite para enriquecer la dieta en omega-3 está siendo cuestionado. Además, un exceso de linaza da a los huevos y a la carne un sabor a pescado característico, por lo que sus niveles de inclusión deben ser controlados.

A veces, como componente de la semilla, se utiliza en piensos para caballos, terneros de engorde y cerdas a fin de mejorar el aspecto de la piel y del pelo.

8.8. ACEITE Y OLEÍNAS DE COCO

Son aceites de importación, sólidos a temperatura ambiente. Más del 85 % de sus ácidos grasos contienen 14 o menos átomos de carbono en su molécula. Por ello, la digestibilidad del aceite de coco en lechones es muy elevada y similar e incluso superior a la soja. Sin embargo, su precio es elevado y por ello su uso ha quedado limitado a la industria de los sueros y productos lácteos reengrasados. A veces aparecen en el mercado, oleínas de coco procedentes de la industria del jabón y de las cremas. El valor energético de este subproducto es muy inferior al del aceite original, tanto en monogástricos como en rumiantes. En los primeros, los ácidos grasos libres saturados son poco polares con lo que su digestibilidad es limitada. En los segundos, estos ácidos grasos libres perjudican el funcionamiento del rumen, afectando al crecimiento de protozoos y bacterias Gram positivas, principalmente (Aymond *et al.*, 1995).

9. FUENTES DE GRASAS

La fuente principal de ácidos grasos en la dieta de los rumiantes son los forrajes y los granos de cereales, aunque el contenido de grasa de las dietas se puede aumentar usando suplementos de granos. Los suplementos se clasifican de acuerdo a su origen en animales, vegetales y mezclas. Dentro de las grasas de origen animal están las grasas poliinsaturadas (origen marino), grasas insaturadas (grasas de aves), moderadamente insaturadas (manteca de cerdo), saturadas (sebo de bovinos) y mezclas de las anteriores (Mateos *et al.*, 1996).

Figura 2. Principales fuentes de ácidos grasos saturados y poliinsaturados.

Estructura	Nombre común	Fuente
Ácidos grasos saturados		
C 4:0	Butírico	Leche de rumiantes
C 6:0	Caproico	Leche de rumiantes
C 8:0	Caprílico	Leche de rumiantes, aceite de coco
C 10:0	Cáprico	Leche de rumiantes, aceite de coco
C 12:0	Láurico	Aceite de coco, aceite de nuez, de palma
C 14:0	Mirístico	Coco, nuez de palma, otros aceites vegetales
C 16:0	Palmítico	Abundante en todas las grasas
C 18:0	Esteárico	Grasas animales, cacao
Ácidos grasos poliinsaturados		
C 18:2 n-6	Linoleico	Aceites vegetales (girasol, maíz, soya, algodón, cacahuate)
C 18: 3 n-3	Linolénico	Soya, otros aceites vegetales
C 18:3 n-6	gamma Linolénico	Aceite de onagra, borraja
C 18:4 n-3	Estearidónico	Aceites de pescado, semillas de borraja, onagra
C 20:4 n-6	Araquidónico	Aceites de pescado
C 22:5 n-3	Clupanodónico	Aceites de pescado
C 22:6 n-3	Docosahexaenoico	Aceites de pescado

Las grasas vegetales los aceites de semillas procedentes de girasol, maíz, soya son aún más insaturadas que los de palma o coco (tabla 1). Existe otro grupo generado por subproductos de la industria, dentro de estos están las oleínas (residuos del refinado de grasas comestibles), las lecitinas (gomas de los procesos del refinado de la industria), grasas de freidura (resultado del reciclado de grasas comestibles), los subproductos industriales y los destilados procedentes de la industria del glicerol entre otros (Mateos *et al.*, 1996).



Desde el punto de vista fisiológico ruminal, los suplementos grasos obtenidos de semillas y animales para las raciones son clasificados de acuerdo a su efecto sobre la fuente de grasa a la digestibilidad de los otros nutrientes de la ración y por otro lado en el grado en que la grasa resiste a la biohidrogenación ruminal, según estos criterios se pueden clasificar las grasas como reactivas o inertes (Palmquist, 1996).

9.1. GRASAS REACTIVAS

Las grasas y aceites de manera natural interfieren con la fermentación microbiana en el rumen y reducen la digestibilidad de otros nutrientes. La fracción más susceptible es la fibra, deprimiendo en mayor grado la digestibilidad de la fibra, entre estas se encuentran las semillas o aceites de oleaginosas (algodón, soya, canola, girasol, entre otras). Las grasas de origen animal (saturadas) son menos reactivas y los subproductos con un contenido de grasa elevado. Estas grasas sufren el proceso de biohidrogenación por microorganismos ruminales y normalmente tienen poco impacto a la hora de modificar el perfil de ácidos grasos insaturados (Palmquist, 1996), pero si estas grasas o aceites se saponifican (i.e. en forma de jabones cálcicos), se disminuye su impacto negativo a nivel ruminal al no existir una biohidrogenación por parte microorganismos ruminales y poder pasar al intestino delgado en donde pueden absorberse y expresar su potencial en la deposición de los ácidos grasos en tejido magro o en leche.

9.2. GRASAS INERTES

Las grasas inertes, denominadas también protegidas o de sobre paso son un grupo de productos que son caracterizados por tener un efecto inhibitorio mínimo sobre el metabolismo ruminal, con pocos o ningún efecto negativo sobre la digestibilidad del resto de los componentes de la ración. Esta protección se obtiene sin un detrimento aparente de la digestibilidad intestinal, pudiendo modificar así el perfil de ácidos grasos en los tejidos. Estas grasas son consideradas inertes debido a que tienen un pKa bajo, por lo cual son poco solubles en el rumen a un pH normal. Las grasas existentes en el mercado son de

dos tipos los jabones cálcicos y las parcialmente hidrogenadas (Mateos *et al.*, 1996).

10. SALES CÁLCICAS DE ÁCIDOS GRASOS

Palmquist *et al.* (1984) realizaron la saponificación con sales de calcio de los ácidos grasos, originando de este modo la protección de las grasas. Este producto es una grasa inerte a nivel ruminal en donde no es afectado por la fermentación, siendo absorbido posteriormente en el abomaso. A diferencia de las grasas, oleínas (triglicéridos, ácidos grasos libres) los jabones cálcicos no interfieren en el metabolismo del rumen. El jabón cálcico de ácidos grasos es insoluble en el rumen y resiste el ataque microbiano, no recubre la digestibilidad de la fibra en el rumen ni inhibe la acción de los microorganismos del rumen.

La mayoría de las sales cálcicas son fabricadas a partir de los destilados de palma, aunque también pueden provenir de aceites como el coco, pescado, girasol entre otros. Los jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite de palma son una fuente totalmente fiable de grasa protegida en la fabricación de raciones para rumiantes. Son una combinación de ácidos grasos y calcio que se encuentran unidos entre sí mediante enlace químico para formar una sal. La sal cálcica de ácidos grasos se disocia en el medio ácido del abomaso. Una vez hidrolizados, los ácidos grasos y el calcio pasan en forma libre al duodeno en donde se realiza su digestión y absorción. El coeficiente de digestibilidad de los ácidos grasos de los jabones cálcicos de aceite de palma son del 93-96% (Palmquist, 1996).

Los jabones cálcicos resultan de la saponificación de ácidos grasos libres con iones de calcio. A un pH normal (> 6.0) los jabones permanecen sin disociar, son insolubles en el líquido ruminal; sin embargo en el abomaso el pH disminuye por lo cual se disocian, dando lugar al calcio y ácidos grasos libres que son digeridos y absorbidos en el yeyuno. Los jabones cálcicos permiten que una mayor proporción de ácidos grasos insaturados lleguen al intestino delgado, por lo cual la digestibilidad de las grasas aumenta. Se ha visto que los jabones cálcicos no afectan el metabolismo microbiano ruminal, sin embargo si existe un pH ruminal



bajo puede existir una disociación cálcica debido a este efecto, lo que puede afectar el metabolismo microbiano ruminal y la tasa de hidrogenación de los ácidos grasos que forman el jabón cálcico. Uno de los inconvenientes que tienen estos jabones es la baja palatabilidad y el alto contenido de calcio (Relling y Mattioli, 2003).

11.GRASAS HIDROGENADAS

El proceso por el cual se obtienen las grasas hidrogenadas es a través de hidrogenación parcial de los dobles enlaces de la fuente lipídica con la finalidad de elevar el punto de fusión y de esta forma reducir la reactividad en el rumen por ser más insolubles. Las principales fuentes utilizadas son las oleínas, palma y sebo (con mayor porcentaje de ácidos palmítico y esteárico), estas grasas tienen la característica de ser más estables debido a que son saturadas (Mattos *et al.*, 2000).

11.1. USOS DE ACEITES Y GRASAS PROTEGIDAS.

El uso de grasas y aceites en la nutrición de rumiantes no es nuevo dentro de las explotaciones se ha utilizado debido a que aumenta la concentración energética de dos a tres veces respecto a la ingestión de carbohidratos, además se observó que puede influir de manera positiva en el aspecto reproductivo de los animales (Staples *et al.*, 1998).

Durante el periodo de lactación en vacas, se tiene un balance energético negativo y para compensar dicho efecto se requiere aumentar la ingesta de grano, el cual provee la cantidad de energía necesaria, sin embargo tiene el inconveniente de tener un consumo máximo de grano, pues un exceso en el consumo de alimentos ricos en almidón produce un aumento en el ácido en rumen produciendo acidosis. Por otra parte la disminución en el consumo de granos reduce el contenido de grasa en la leche, es por ello que se ha buscado compensar este problema mediante el uso de grasas y aceites (Staples *et al.*, 1998; Mattos, 2000). Otro parámetro que se ve afectado es la prolificidad de los ovinos, a través de un incremento de energía se produce un efecto flushing (Herrera *et al.*, 2008).



El uso de grasas en la alimentación de ganado lechero ha causado un efecto positivo, se ha encontrado que por cada 500 g de grasa suplementada en la dieta se produce un aumento en la leche de 1.3 a 2.7 kg (Palmquist, 1996).

La digestión ruminal de la grasa incluye sucesivamente su hidrólisis e hidrogenación. Estos procesos suelen tener lugar rápidamente, afectando a la mayor parte de la grasa ingerida. Sin embargo, en algunas circunstancias ligadas al tipo de dieta y al tipo de animal que la recibe pueden ocurrir de forma incompleta. La hidrólisis de los lípidos ocurre de manera rápida 90% en una hora, pero se ha observado que un incremento en la concentración de almidón dentro de la dieta disminuye la tasa de lipólisis en el rumen (Relling y Mattioli, 2003). Dichas observaciones podrían estar relacionadas con un aumento paralelo de la acidez del contenido ruminal, puesto que Van Nevel y Demeyer (1995) observaron que un descenso del pH desde 6,3 hasta 5,2 reducía linealmente la liberación de ácido linoleico a partir de aceite de soya hasta menos de un tercio.

También se ha observado que la adición de antibióticos, especialmente ionóforos, reduce el grado de lipólisis *in vitro* (Van y Demeyer, 1995). Estas circunstancias (acidosis y uso de ionóforos) se dan actualmente en la práctica en los sistemas intensivos de cebo de rumiantes, en los que habría que esperar, por tanto, un mayor grado de estabilidad de la grasa en el rumen. La adición de una fuente de calcio a las dietas enriquecidas con grasas, promueve la formación de jabones insolubles logrando que la grasa no tenga efectos negativos sobre los rumiantes, el cloruro de calcio por ser de alta solubilidad en agua es totalmente ionizado en rumen y es más eficiente en la formación de jabones insolubles de Ca. Las grasas protegidas o grasas de sobrepaso disminuyen los problemas de fermentación ruminal ocasionados al suplementar con grasas naturales. La formación de sales de calcio en combinación con la grasa, por el proceso de saponificación no causa cambios en la digestión ruminal y en la composición de ácidos grasos volátiles (Hess *et al.*, 2007).

La energía en la nutrición de rumiantes tiene un papel importante ya que incrementa los parámetros reproductivos como la fertilidad y prolificidad, así como



la producción láctea (Mattos *et al.*, 2000). Con la finalidad de satisfacer las necesidades energéticas se han desarrollado diversos procesos tecnológicos para mejorar y conservar la calidad de los alimentos utilizados en el consumo de los animales. Los ácidos grasos se han utilizado como una estrategia nutricional para tratar de mejorar los parámetros reproductivos de los animales. En las dietas para rumiantes en donde se ha empleado sebo (Son *et al.*, 1996), grasa amarilla (DePeters *et al.*, 1987), aceite de pescado (Carroll *et al.*, 1994), semillas de algodón (Horner *et al.*, 1986), soya (Tomas *et al.*, 1997), girasol y cártamo (Stegeman *et al.*, 1992), canola (Khorasani *et al.*, 1991), grasa hojuela (Elliott *et al.*, 1994), grasa hidrogenada (Drackley *et al.*, 1993) y grasas de jabones de calcio (Ferguson *et al.*, 1990), han sido utilizadas en su mayoría, con el propósito de aumentar la densidad energética, disminuir el balance energético negativo e incrementar la producción de leche en vacas, y en las hembras ovinas son utilizadas para favorecer la fertilidad y prolificidad.

La utilización de diversas semillas de oleaginosas en las dietas de los rumiantes se ha hecho con la finalidad de favorecer la respuesta productiva, reproductiva e inmunológica. Dentro de los aceites más frecuentemente utilizados se encuentran el de girasol, maíz, soya, canola y recientemente el de cártamo, siendo este último el que tiene una mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados.

Es por ello que se ha propuesto la protección de grasas y aceites, debido a que su adición de manera directa a la alimentación no es eficaz por la degradación ruminal, la protección con iones de calcio han demostrado ser una protección eficaz, y a su vez permite modificar el perfil de ácidos grasos en leche (Mateos *et al.*, 1996).

12.MÉTODO *IN VITRO*

Los métodos *in vitro* tienen la ventaja de utilizar un mayor número alimentos y repeticiones de los mismos, además, el mantenimiento de las condiciones experimentales permiten controlar una serie de factores extrínsecos (ejemplo: eliminar el efecto animal). Las técnicas *in vitro* más utilizadas son: el método de



Tilley y Terry (1963), el método de producción de gas (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994) y actualmente el digestor Daisy. Un eficiente método de laboratorio pueden ser reproducible y correlacionarse con las medidas de parámetros *in vivo* (Getachew *et al.*, 1998). La técnica de Tilley y Terry (1963), se vuelve un importante instrumento para evaluar los alimentos para rumiantes y son ampliamente usados, particularmente cuando se requieren prueba de alimentación a gran escala; es empleado en muchos laboratorios para la evaluación de forrajes e involucra dos etapas, en el cual los forrajes son sometidos a una fermentación de 48 horas en solución buffer que contiene líquido ruminal y saliva 22 artificial, seguido por 48 horas de digestión con pepsina en una solución ácida. El método fue modificado por Goering y Van Soest (1970), en el que el residuo después de 48 horas de incubación es tratado con una solución neutro detergente para estimar la materia seca verdaderamente digestible (MSVD). Aunque el método de Tilley y Terry (1963), ha sido extensivamente validado con valores *in vivo* (Van Soest, 1994), los métodos aparecen con desventajas. Es laborioso, la técnica no provee información de la cinética de digestión del forraje, ya que únicamente podemos determinar la degradabilidad a un sólo tiempo, y el alimento presente en el rumen se degrada en diferentes tiempos en función de la actividad bacteriana y la naturaleza del alimento a incubar, la determinación de los residuos es gravimétrica, por lo tanto es necesario un número de réplicas permitan obtener un valor promedio.

Las técnicas para medir la producción de gas han sido usadas para evaluar el valor nutritivo de los alimentos, el gas producido provee datos útiles de la digestión de fracciones solubles e insolubles de los alimentos (Getachew *et al.*, 1998). Hay dos formas de medir la fermentación microbiana de los alimentos a partir del volumen de gas producido *in vitro*: a) Determina el volumen de gas producido a presión atmosférica b) Estimarlos a partir de los cambios de presión que tienen lugar en recipientes de volumen fijo (Theodorou *et al.*, 1994; Cone *et al.*, 1996).

Menke *et al.* (1979) basaron su método en el empleo de jeringas de vidrio calibradas (100 ml) en las que se incubaba el sustrato que se debe valorar con una



mezcla 1:2 del líquido ruminal y una solución compuesta por un tampón bicarbonato-fosfato, soluciones de minerales y un agente reductor, la preparación del medio se lleva a cabo en un ambiente rico en CO₂. Por otro lado, Theodorou *et al.* (1994) desarrollaron un método donde la incubación se lleva a cabo en botellas de vidrio (125 ml) provista de un tapón de goma y selladas herméticamente. Las botellas se llenan con 1g de sustrato y 90 ml de solución de incubación (saliva artificial) pero sin inóculo (líquido ruminal). Previo a su sellado son gasificadas con CO₂ y en un plazo no superior a 24 horas se inoculan al inyectar 10ml por botella de líquido ruminal (Theodorou *et al.*, 1994).



II. HIPÓTESIS

La adición de jabones cálcicos de aceite vegetal poliinsaturado (coco y linaza) en la alimentación de ovinos para disminuir la producción de gases de efecto invernadero

III. OBJETIVO

Evaluar el uso de la adición de jabones cálcicos de aceite vegetal poliinsaturado (coco y linaza) en la alimentación de ovinos para mitigar la producción de gases de efecto invernadero.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la FMVZ-UMSNH, unidad posta, la cual se encuentra ubicada en la carretera Morelia – Zinapécuaro, Km 9.5, en el municipio de Tarímbaro, Michoacán. Las características fisiográficas de la región son: clima templado con lluvias en verano, precipitación pluvial anual de 600 a 800 mm, con una altitud entre 1900 y 2400 msnm, y temperatura anual promedio de 16 a 18°C (INEGI, 2008).

El método experimental se realizó con dos ovinos adultos, como donadores de líquido ruminal, los animales recibirán una dieta basada en rastrojo y suplementada con concentrado, con acceso libre a agua. Se va a extraer 1lt de líquido ruminal por medio de una sonda oro ruminal con bomba al vacío. La elaboración de jabones cálcicos con aceites de coco y linaza a nivel de inclusión 10, 20, 30 % referente de la dieta.

Las temperaturas a las que se sometieron los aceites considerados para la elaboración de los jabones fueron: temperatura ambiente, 60°C.

Para la elaboración de los jabones se utilizaron por cada 100 ml de aceite, 25 g de cloruro de calcio, 5 gramos de carbonato de calcio, alcohol 30 ml, hidróxido de sodio al 30 ml. El hidróxido de sodio se preparó al iniciar el proceso y el aceite se calentó a las temperaturas anteriormente mencionadas.

La técnica para la medición de gas se basó a lo que menciona Theodorou *et al.*, (1994) desarrollaron un método donde la incubación se lleva a cabo en botellas de vidrio (125 ml) provista de un tapón de goma y selladas herméticamente. Las botellas se llenan con .800g de sustrato y 90 ml de solución de incubación (saliva artificial) pero sin inóculo (líquido ruminal). Previo a su sellado son gasificadas con CO₂ y en un plazo no superior a 24 horas se inoculan al inyectar 10ml por botella de líquido ruminal (Theodorou *et al.*, 1994).



Para la técnica de producción de gas, se prepara el medio de incubación con una mezcla, por orden (ml/l), agua destilada, solución de micro minerales, 0.12; solución tampón, 237; resazurina al 0.1 %, 1.22 (Menke *et al.*, 1979).

- Solución de microminerales (100mL): $(13.2\text{g CaCl}_2 \times 2 \text{ H}_2\text{O}) + (10\text{g MnCl}_2 \times 4 \text{ H}_2\text{O}) + (1\text{g COCl}_2 \times 6 \text{ H}_2\text{O})$
- Solución Tampón (11): $(35\text{g NaHCO}_3) + (4\text{g (NH}_4\text{) (HCO}_3\text{)})$
- Solución de macrominerales (11): $(5.7\text{g Na}_2 \text{ HPO}_4) + (6.2\text{g KH}_2\text{PO}_4) + (0.6\text{g MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O})$
- Resazurina 0.1% (100ml): 0.1g resazurina

Para la solución tampón (1L): se pesan 35gr de bicarbonato de sodio y 4gr de bicarbonato de amonio. Se coloca el matraz en el agitador magnético y se coloca 500ml de agua destilada con un agitador, se agrega el bicarbonato de sodio y se agrega el bicarbonato de amonio hasta que esté totalmente disuelto el primero. Ya disueltos los dos reactivos, se retira del agitador y se coloca en un matraz aforado, donde se afora a 1L.

Para la solución de macrominerales (1L): Se pesan 5.7gr de fosfato de sodio, 6.2gr de fosfato de potasio y 0.6gr de sulfato de magnesio. Se colocó en el matraz 500ml de agua destilada, se agrega el agitador y se colocó en el agitador magnético; al cual se le agregaron de uno por uno los reactivos, hasta que se disuelvan completamente. Ya lista la solución se pasa a un matraz aforado y se afora hasta 1L.

Para la solución de microminerales (25ml): se pesan 3.3 gr de Cloruro de calcio, 2.5gr de cloruro mangnesio y 0.25 gr de cloruro de cobalto. Se coloca un vaso de 25 ml en el agitador magnético, se le agregan 15 ml de agua destilada y se agrega uno a uno ya que el primero se disuelve. Después se afora en una probeta de 25 ml y la solución se coloca en un frasco ámbar etiquetado.



Se deben mantener estas soluciones en refrigeración (para la resazurina no es necesario), Posteriormente se mezclan los ingredientes y se calientan a 38°C, burbujea no con CO₂.

Por otro lado, se colecta contenido ruminal (líquido y sólido) con ayuda de una bomba de vacío, procedente de dos o tres donadores, los cuales se recomienda que tengan una adaptación a una ración estándar (50: 50 heno de alfalfa: paja de cebada) suplementados con 2% de minerales. Para la realización de la saliva artificial se adiciona el agente reductor (añadir 2 ml 1N NaOH a 47.5 ml de agua destilada, luego añadir 285mg Na₂S-7H₂O. Añadir a la mezcla de ingredientes (sin incluir líquido ruminal), y la gasear con CO₂, hasta que vire de rosa a incolora. Si hay problemas con este reductor, emplear 3% L-cisteína HCL H₂O (0.5g/1 medio), y en tal caso, las proporciones ml/l de las distintas soluciones serían: H₂O., 3500 ml; solución micro minerales, 0.38ml; solución tampón, 784.35 ml; resazurina, 4 ml. Para el caso del líquido ruminal, es de 350 ml; homogenizar la solución, gaseando con CO₂ durante 3 minutos y se filtra por dos capas de gasa (o por colador de malla y capa de grasa) y posteriormente por lana de vidrio para eliminar las partículas pequeñas de alimento y protozoarios. Cuando la mezcla de ingredientes está incolora, añadir el líquido ruminal y dejar mezclar, agitando y burbujeando con CO₂, durante 10 minutos, posteriormente llenar los frascos y se utiliza la técnica de Theodorou *et al.*, (1994), igualando el contenido a 90 ml de solución buffer y 10ml de líquido ruminal, cerrar la válvula, mezcla agitando e incubar el baño a 38°C. Inmediatamente después de llenar y ajustar los frascos, registra el volumen inicial (PSI), agitar una o dos veces las primeras tres a cuatro horas. Una vez realizada la incubación debemos realizar una serie de cálculos que nos permitan conocer la producción real de la portada muestra incubada, para ello utilizamos un estándar (Std) (ej. paja de cebada), previamente incubado y de la cual se conoce la producción de gas, además de frascos sin sustrato (blancos, blk).



Se utilizaron frasco de 125 ml de vidrio en el cual se depositara una cantidad de un 10% de líquido ruminal, un 90% de solución buffer y se pesaran 0.999g de alimento total, se incuba en baño maría a 39.5 grados centígrados, se agrega una muestra de aceite de coco, se dejara incubando a una temperatura de 39 grados centígrados durante 96hrs y se realizará la medición cada 0, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 y 96hrs, con un transductor de presión.

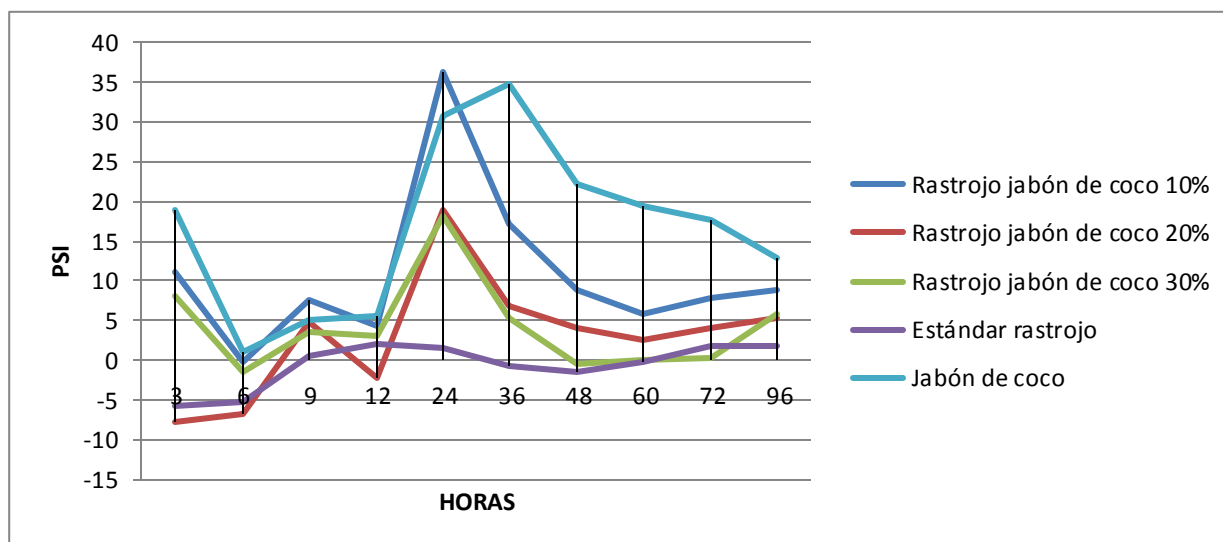
Después de la incubación y la medición, se realizó cálculos estadísticos y matemáticos para observar las variaciones de la producción de gas.

La producción de gas se estima por diferencia entre el valor registrado de cada frasco de los diferentes sustratos y el valor medio de producción de gas debida al blanco (frasco sin sustrato).

V. RESULTADOS

Tabla 2. Comparación de los tres niveles de inclusión del rastrojo con jabón de Coco y el estándar del rastrojo.

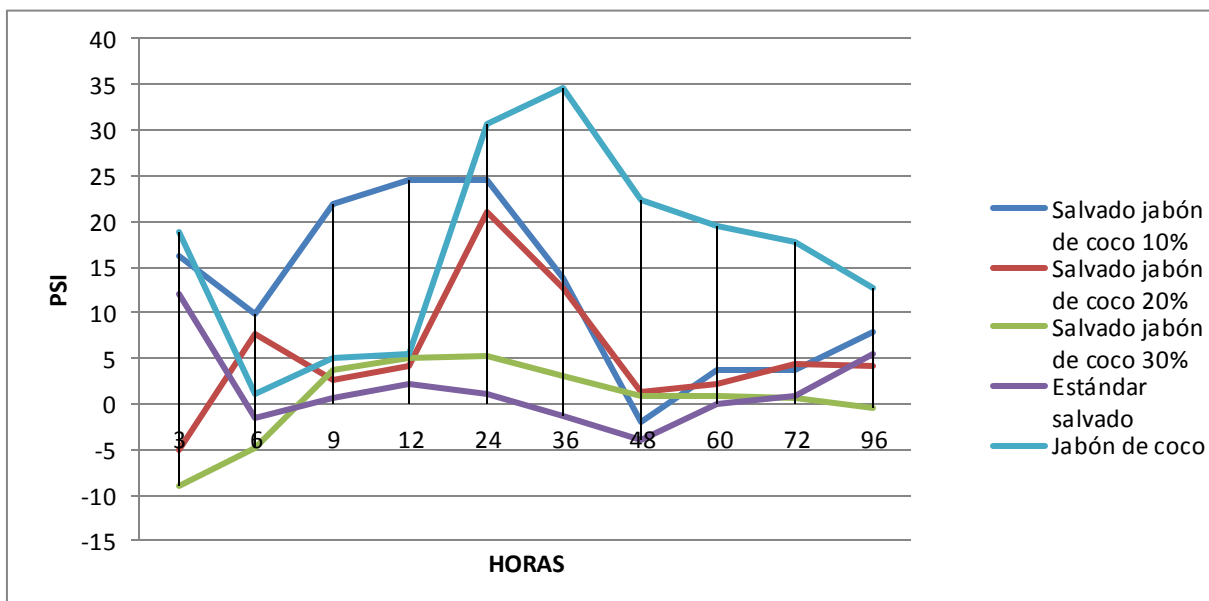
HORAS	Rastrojo jabón de coco 10%	Rastrojo jabón de coco 20%	Rastrojo jabón de coco 30%	Estándar rastrojo	Jabón de coco
3	11.0462315	-7.898203	8.1694235	-5.642524	18.859381
6	-0.248509	-6.8030545	-1.392694	-5.201196	1.124513
9	7.5482945	4.9330145	3.64172	0.568766	5.1291605
12	4.262849	-2.2916965	3.118664	1.9254425	5.505107
24	36.2509925	18.8266895	18.058451	1.5658415	30.709868
36	17.1594485	6.8944745	5.374343	-0.738874	34.69817
48	8.970353	4.0830485	-0.477346	-1.40904	22.27559
60	5.7829805	2.5138805	-0.0360175	-0.215818	19.398782
72	7.956932	4.1484305	0.307238	1.745642	17.731541
96	8.8559345	5.3253065	5.93009	1.8273695	12.811546



Gráfica 2. Comparación de los tres niveles de inclusión del rastrojo con jabón de coco y el estándar del rastrojo.

Tabla 3. Comparación de los tres niveles de inclusión del salvado con jabón de coco y el estándar del salvado.

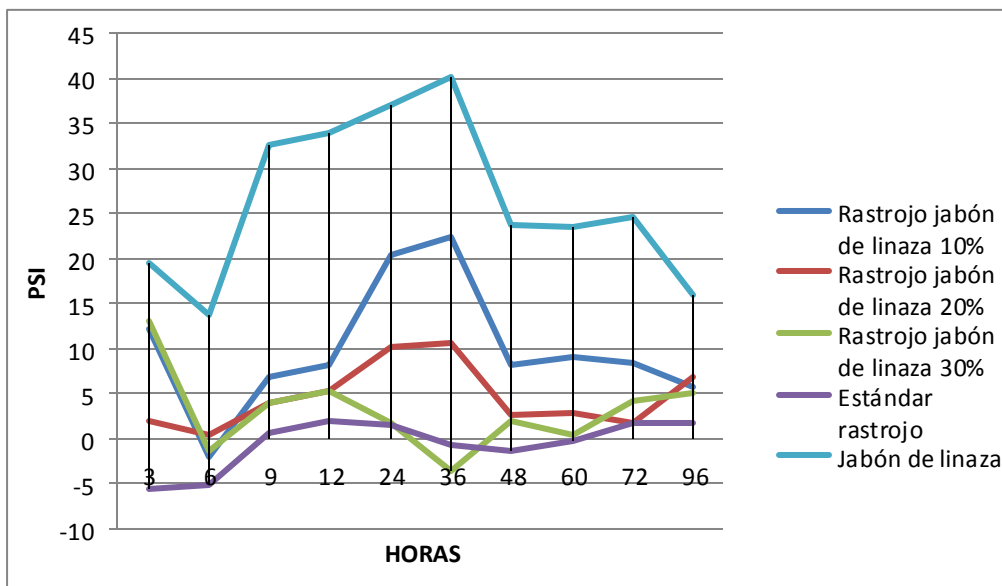
HORAS	Salvado jabón de coco 10%	Salvado jabón de coco 20%	Salvado jabón de coco 30%	Estándar salvado	Jabón de coco
3	16.260446	-5.021395	-8.911624	12.0269615	18.8593805
6	9.820319	7.7117495	-4.923322	-1.4417305	1.124513
9	21.8342615	2.7100265	3.7888295	0.7485665	5.1291605
12	24.6456875	4.066703	5.145506	2.105243	5.505107
24	24.629342	21.0823685	5.341652	1.0100945	30.709868
36	13.7595845	12.8115455	3.118664	-1.2782755	34.69817
48	-1.9320955	1.2062405	0.7812575	-3.87721	22.27559
60	3.772484	2.0888975	0.830294	-0.1013995	19.398782
72	3.7888295	4.3445765	0.732221	0.9120215	17.731541
96	7.9405865	4.1811215	-0.4936915	5.5214525	12.8115455



Gráfica 3. Comparación de los tres niveles de inclusión del salvado con jabón de coco y el estándar del salvado.

Tabla 4. Comparación de los tres niveles de inclusión del rastroyo con jabón de linaza y el estándar de rastroyo con jabón de linaza.

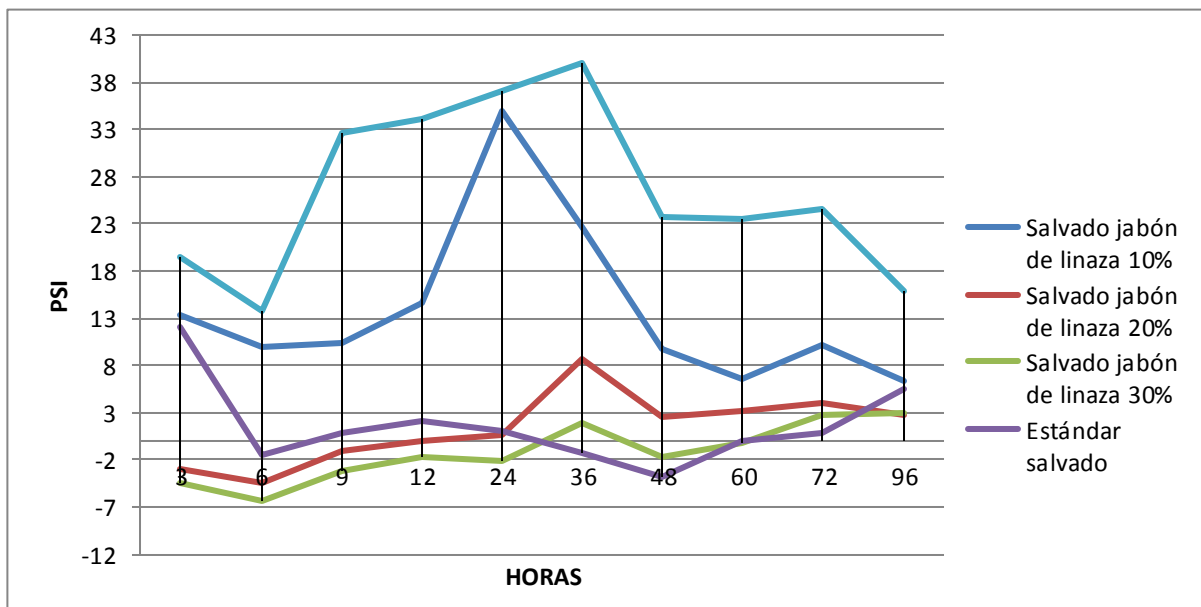
HORAS	Rastrojo jabón de linaza 10%	Rastrojo jabón de linaza 20%	Rastrojo jabón de linaza 30%	Estándar rastroyo	Jabón de linaza
3	12.075998	1.843715	13.089419	-5.642524	19.464164
6	-2.1282415	0.307238	-1.3436575	-5.201196	13.8249665
9	6.845438	3.903248	3.9522845	0.568766	32.6549825
12	8.2021145	5.2599245	5.308961	1.9254425	34.011659
24	20.444894	10.212611	1.6966055	1.5658415	37.019231
36	22.3573175	10.670285	-3.5993365	-0.738874	40.092185
48	8.1694235	2.530226	2.00717	-1.40904	23.746685
60	9.068426	2.8734815	0.3235835	-0.215818	23.452466
72	8.3982605	1.7946785	4.099394	1.745642	24.531269
96	5.766635	6.780056	5.047433	1.8273695	15.8844995



Gráfica 4. Comparación de los tres niveles de inclusión del rastroyo con jabón de linaza y el estándar de rastroyo con jabón de linaza.

Tabla 5. Comparación de los tres niveles de inclusión del salvado con jabón de linaza y el estándar del salvado, y jabón de linaza.

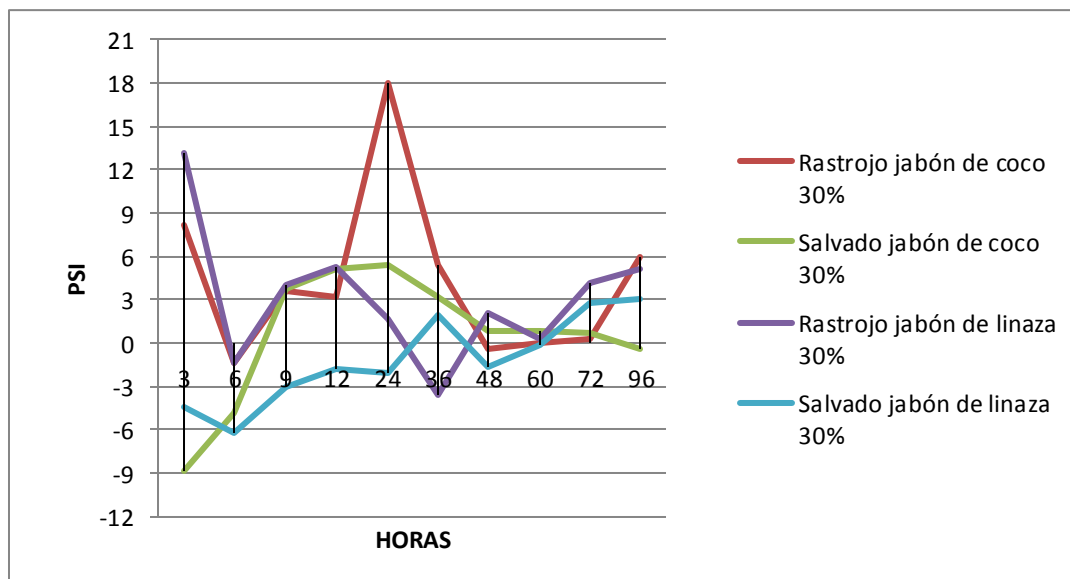
HORAS	Salvado jabón de linaza 10%	Salvado jabón de linaza 20%	Salvado jabón de linaza 30%	Estándar salvado	Jabón de linaza
3	13.2692195	-3.0435895	-4.465648	12.0269615	19.464164
6	10.049156	-4.53103	-6.2799985	-1.4417305	13.8249665
9	10.441448	-1.163857	-3.092626	0.7485665	32.6549825
12	14.560514	-0.019672	-1.7686405	2.105243	34.011659
24	34.927007	0.666839	-2.144587	1.0100945	37.019231
36	22.667882	8.6597885	1.941788	-1.2782755	40.092185
48	9.7059005	2.432153	-1.719604	-3.87721	23.746685
60	6.5021825	3.216737	-0.1667815	-0.1013995	23.452466
72	10.1962655	4.099394	2.8080995	0.9120215	24.531269
96	6.355073	2.6773355	2.9879	5.5214525	15.8844995



Gráfica 5. Comparación de los tres niveles de inclusión del salvado con jabón de linaza y el estándar de salvado con jabón de linaza.

Tabla 6. Comparación de los de los cuatro niveles de inclusión de 30% con rastreo con jabón de coco, salvado con jabón de coco, rastreo con jabón de linaza y salvado con jabón de linaza.

HORAS	Rastrojo jabón de coco 30%	Salvado jabón de coco 30%	Rastrojo jabón de linaza 30%	Salvado jabón de linaza 30%
3	8.1694235	-8.911624	13.089419	-4.465648
6	-1.392694	-4.923322	-1.3436575	-6.2799985
9	3.64172	3.78883	3.9522845	-3.092626
12	3.118664	5.145506	5.308961	-1.7686405
24	18.058451	5.341652	1.6966055	-2.144587
36	5.374343	3.118664	-3.5993365	1.941788
48	-0.477346	0.781258	2.00717	-1.719604
60	-0.0360175	0.830294	0.3235835	-0.1667815
72	0.307238	0.732221	4.099394	2.8080995
96	5.93009	-0.493692	5.047433	2.9879



Gráfica 6. Comparación de los de los cuatro niveles de inclusión de 30% con rastreo con jabón de coco, salvado con jabón de coco, rastreo con jabón de linaza y salvado con jabón de linaza.

VI. DISCUSIÓN

Beauchemin *et al.* (2008) informaron diferencias marcadas en la respuesta a la suplementación con fuentes de lípidos, con respecto a la reducción de la metanogénesis ruminal. Esta depende de la dieta base y del nivel, así como de otros factores que pueden influir en los resultados (Rasmussen y Harison, 2011), como la duración de los experimentos, el tipo y número de animales y el método de cuantificación. El aceite de coco y linaza es rico en ácidos grasos de cadena media, fundamentalmente, mirístico, palmítico, esteárico, oleico y linoleico, que han demostrado ser efectivos para inhibir la metanogénesis ruminal (Blas *et al.*, 2003; y Kobayashi, 2010).

MacMüller *et al.*, (2000), lograron reducir la producción de metano en 26 % en corderos, sin afectar la digestibilidad. McMüller *et al.* (2003), observaron que el uso de este aceite en rumiantes redujo la metanogénesis, sin afectar la digestión total de los nutrientes en el tracto digestivo. Otra explicación posible del efecto del aceite de coco en el consumo voluntario pudiera estar relacionada con el efecto inhibitorio directo de los ácidos grasos en la motilidad ruminoreticular (Chilliard, 1993).

Con relación a la producción de metano en el rumen, en este trabajo la emisión del gas (L.kg MSI-1) se redujo 35 %, al usar el aceite de coco con relación a la dieta control. MacMüller y Kreuzer (1999), observaron disminuciones de 63.8 % en la producción de metano, cuando se utilizó 7 % de aceite de coco en la dieta. Al respecto, en la literatura se señala que el aceite de coco y el de girasol (McGinn *et al.*, 2004), al igual que el de oliva (Ungerfield *et al.*, 2003), entre otros, reducen las emisiones de metano mediante la competencia con los microorganismos metanogénicos por equivalentes reductores o por el efecto tóxico directo en los microorganismos ruminales que degradan la fibra. Esto parece explicar los efectos antimetanogénicos que se observaron en este trabajo.



VII. CONCLUSIÓN

Se concluye que el jabón cálcico con aceite de linaza al 30% con la alimentación basada en salvado presento mayor disminución en los gases de efecto invernadero comparada con los demás niveles de inclusión, el 10, 20,30% jabón cálcico con aceite de coco con la alimentación basada en rastrojo y salvado, el 10, 20,30% jabón cálcico con el aceite de linaza con la alimentación basada en rastrojo.



VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, Z. (2014). Métodos utilizados para reducir la producción de metano.
2. Aymond, W.M., Van Elswyk, M.E. (1995). Yolk thiobarbituric acid reactive substances and n-3 fatty acids response to whole POUH. Sci., 74(3) 1388-1394.
3. Beauchemin, K., McGinn, S., Benchaar, C., Holtshausen, I. (2009). Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. Journal of dairy science. 92, 2118.
4. Beauchemin, K., McGinn, S. (2005). Methane emissions from cattle fed barley or corn diets. Journal of animal science 83, 653-661.
5. Beauchemin, K. A. Kreuzer, M. O'Mara, F. McAllister, T. A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. Aust. J. Experim. Agric. 48:21.
6. Bradshaw, C.J.A. y Brook, B.W. (2014). Human population reduction is not a quick fix for environmental problems Proceedings of the National Academy of Sciences. Disponible en <http://www.pnas.org/content/early/2014/10/23/1410465111.abstract> 10.1073/pnas.1410465111.
7. Caballero, M., Lozano, S. y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. revista digital universitaria , 8(10), p. 11.
8. Carmona, J. C., Bolívar, D. M., Giraldo, I. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. revista colombiana de ciencias pecuarias , volumen 18, p. 15.
9. Coronado, H. M., Vega, L.S., Gutiérrez, T.R., García, F.B., Díaz, G. G. (2006). los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. REB 25(3): 72-79.



10. Cottle, D., Nolan, J., Wiedemann, S. (2011). Ruminant enteric methane mitigation: a review *Animal Production Science* 51(6): 491-514.
11. Chilliard, Y. (1993). Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs and rodents. A review. *J. Dairy Sci.* 76:3897.
12. Diaz, R.A., Galindo, B.J., Bocourt, S.R., Laurencio, S.M., Pérez, Q.M. (2008). Los microorganismos del rumen y su papel en la fisiología digestiva del rumiante, p.1-25.
13. Dong, Y., Bae, H., Mcallister, T., Mathison, G., Cheng, K. (1997). Lipid-induced depression in methane production and digestibility in the artificial rumen system (rusitec). *Journal of animal science* 77:269–278.
14. FAO. (2005). Efecto invernadero-bovinos.
15. FAO. (2012). Ganadería Mundial 2011. La ganadería y la seguridad alimentaria Roma, FAO.
16. Galindo, J., González, N., Delgado, D., Sosa, A., González, R., Torres, V., Aldana, A.I., Moreira, O., Sarduy, L., Noda, A. C., Cairo, J. (2009). Effect of coconut oil on methanogenic bacteria population and its relationship with others ruminal microbial groups in in vitro conditions. *Cuban J. Agric. Sci.* 43:142.
17. Gerber, P.J., Henderson, B.P. (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *fao producción y sanidad animal*, p. 251.
18. INEGI. (2008). Recuperado el 28 de diciembre de 2016. <http://www.inegi.org.mx/>.
19. Krishnamurthy, V., Soller, H., Steingass, H., Menke, KH. (1991). A comparative study on rumen fermentation of energy supplements in vitro. *Journal Animal Physiology Animal Nutrition*. 65: 28-35.
20. Lee, C., Hristov, A.N., Heyler, K.S., Cassidy, T.W., Long, M., Corl, B.A., Karnati, S.K.R. (2011). Effects of dietary protein concentration and coconut



- oil supplementation on nitrogen utilization and production in dairy cow. J. Dairy Sci. 94:5544.
21. Machmüller, A., Ossowski, D.A., Kreuzer, M. (2000). Comparative evaluation of the effects of coconut oil, oilseeds and crystalline fat on methane release, digestion and energy balance in lambs. Anim. Feed Sci. Techn. 85:41.
22. Machmüller, A., Soliva, C.R., Kreuzer, M. (2003). Effect of coconut oil and defaunation treatment on methanogenesis in sheep. Reprod. Nutr. Dev. 43:41.
23. Machmüller A., Kreuzer M. (1999). Methane suppression by coconut and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. Canadian J. Anim. Sci. 79:65.
24. Mateo, G.G., Rebollar, P.G., Mendel, P. (1996). Utilización de grasa y productos lipídicos en la alimentación animal: Grasas puras y Mezclas. Department of Animal Science.
25. Mattos, R., Staples, C.R., Thatcher, W.W. (2000). Efectos de los ácidos grasos dietéticos sobre la reproducción en rumiantes. Reviews. 38-45.
26. Menke, K.H., Steingass H. (1998). Estimation of energetic feed value obtained from chemical analyses and in vitro gas production using rumen fluid. Animal Research. 28:7-55
- Ofori, F and Stern, WR. 1987. Cereal-legume intercropping system. Advance in Agronomy. 41:41-90.
27. Minaet, M.d.A., (Energía y Telecomunicaciones, CR). (2009). Estrategia Nacional de Cambio Climático. San José, Costa Rica, 109 p.
28. Moallem, U., Shafran, A., Zachut, M., Dekel, L., Portnick, Y., Arieli, A. (2013). Dietary α -linolenic acid from flaxseed oil improved folliculogenesis and IVF performance in dairy cows, similar to eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids from fish oil. Department of Animal Science.
29. Morgan, J.A. (2003). The atmosphere and the science of weather. Macmillan College Publishing .



30. McGinn, S.M., Beauchemin, K.A., Coates, T., Colombatto, D. (2004). Methane emissions from beef cattle: effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast and fumaric acid. *J. Anim. Sci.* 82:3346.
31. Pierre, (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. Roma: FAO.
32. Palmquist, D.L., Van Elswyk, M.E. (1996). La utilización de lípidos en la dieta de los rumiantes. Department of animal Sciences.
33. Rangel, U. (2016). Cambio Climático Global. Recuperado el 27 de diciembre de 2016, de Cambio Climático Global.
34. Relling, A.E., Mattioli, G.A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Department of animal Sciences.
35. Rotger, A. (2004) Fermentación ruminal, degradación proteica y sincronización energía-proteína en terneras de cebo intensivo. departamento de ciencias y nutrición animal, p. universidad autónoma de barcelona .
36. Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., Haan, C.d. (2006). Livestock's long shadow: Environmental issues and options, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
37. Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., Mc Allan, A.B., France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology.* 48:185-197.
38. Ungerfeld, E.M., Rust, S.R., Burnett, R. (2003). Use of some novel alternative electron sinks to inhibit ruminal methanogenesis. *Reprod. Nutr. Dev.* 43:189.
39. Watson, R.T., Rodhe, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U. (1990). Greenhouse Gases and Aerosols. In Houghton, J.T., Jenkins, G.J. Ephraums, J.J. eds. 1990. Climate Change. The IPCC scientific assessment. . J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums ed. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. p. 40.