

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Efecto de la inclusión de glicerina en la dieta sobre el comportamiento productivo de ovinos en crecimiento

POR

JUAN CARLOS URIBE ORDAZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Efecto de la inclusión de glicerina en la dieta sobre el comportamiento
productivo de ovinos en crecimiento

POR

JUAN CARLOS URIBE ORDAZ

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR

PRESIDENTE:

MVZ. RODRIGO SIDRO SIMÓN ALONSO

VOCAL:

DR. RAMIRO GONZÁLEZ AVALOS

VOCAL

MC. BLANCA PATRICIA PEÑA REVUELTA

VOCAL SUPLENTE:

MC. RAFAEL ÁVILA CISNEROS

MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
División Regional de Ciencia Animal

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

OCTUBRE DE, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Efecto de la inclusión de glicerina en la dieta sobre el comportamiento
productivo de ovinos en crecimiento

POR


JUAN CARLOS URIBE ORDAZ

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR


ASESOR PRINCIPAL:


DR. RAMIRO GONZÁLEZ AVALOS

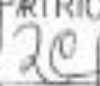
Asesor:


DR. GERMAN BUENDIA RODRIGUEZ
(DIRECTOR DEL PROYECTO)

Asesor:


MC. BLANCA PATRICIA PENA REVUELTA

Asesor:


MC. RAFAEL AVILA CISNEROS


MC. J. GUADALUPE RODRIGUEZ MARTINEZ
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

División Regional de Ciencia Animal

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

OCTUBRE DE 2018

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

José Luz Venancio Uribe Salinas y María Sacramento Ordaz Reséndiz por apoyarme incondicionalmente para obtener un logro tan grande como es el convertirme en un profesionalista.

A mis hermanos

Eloy Uribe Ordaz, Hugo Uribe Ordaz y Roció Uribe Ordaz, por darme su ayuda incondicional.

Al Dr. Germán Buendía Rodríguez

Por brindarme su apoyo y permitirme ser parte de su proyecto para realizar mi tesis de titulación.

A María de los Ángeles González Puente

Por apoyarme en la realización del experimento.

A la Dra. Berenice Sánchez Mendoza

Por ayudarme y guiarme en las actividades de laboratorio necesarias para realizar las pruebas de producción de gas.

DEDICATORIAS

A mis padres

José Luz Venancio Uribe Salinas y María Sacramento Ordaz Reséndiz por la confianza y apoyo que me brindaron todo este tiempo.

A mis hermanos

Eloy Uribe Ordaz, Hugo Uribe Ordaz y Roció Uribe Ordaz, a quienes quiero mucho.

A toda mi familia

Gracias a todos por sus consejos, toda su ayuda y su apoyo, mil gracias a todos los que estuvieron y siguen estando conmigo.

RESUMEN

Dado el reciente aumento en la producción de biodiesel junto con la gran cantidad de su residuo disponible la glicerina, este surge como una alternativa en la alimentación animal. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la inclusión de glicerina sobre el comportamiento productivo de ovinos en crecimiento, además de los efectos sobre la cinética de fermentación *in vitro*. Se utilizaron 40 corderos machos enteros de la crucea $\frac{1}{4}$ Black Belly, $\frac{1}{4}$ Katahdin y $\frac{1}{2}$ Dorper con un peso promedio de 15.5 kg con una dieta a base de rastrojo de maíz, grano de maíz rolado, pasta de soya, melaza, urea, minerales, carbonato y la inclusión de cuatro niveles de glicerina 0, 5, 15 y 25%. Se midió producción total de gas *in vitro* a las 24 y 72 h de incubación. Como resultado en los tratamientos aplicados se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en la ganancia diaria de peso (GDP), siendo el tratamiento 5% (273.56 g/d) con la mayor GDP, mientras que la menor fue para el tratamiento 25% (197.67 g/d), en el consumo de materia seca (CMS), el tratamiento con el 15% (1644.89 g/d) fue el grupo con el más alto CMS, y el 25% con el menor consumo (1221.33 g/d), para la conversión alimenticia (CA) el tratamiento con la mejor CA fue el tratamiento 5% (5.6564) y la peor CA fue el tratamiento 15% (7.1717). Con respecto a los valores en la cinética de fermentación *in vitro* no se hallaron diferencias ($P < 0.05$), en cuanto a la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y el volumen de gas acumulado. Llegamos así a la conclusión que el glicerol, tiene una eficiencia energética similar cuando se reemplaza al maíz o la melaza permitiendo incluirla en un 5% de la dieta sin tener efectos negativos sobre los animales ni las variables evaluadas en las pruebas de producción de gas *in vitro*.

Palabras clave: Glicerina, producción de gas *in vitro*, fermentación.

ÍNDICE GENERAL.

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. Hipótesis	3
3. Objetivos	3
3.1 Objetivo General.....	3
3.2 Objetivo Particular.....	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
5. Historia y antecedentes de la producción ovina en México	4
5.1 Sistemas de producción en México.....	6
5.2 Adaptación ruminal.....	8
6. Glicerina como sub-producto de la industria del biodiesel.....	11
6.1 Producción de biodiesel en México.....	13
6.2 Tipos de glicerina.....	14
6.3 Composición y estructura química de la glicerina.....	15
6.4 Efectos adversos de la suplementación con glicerina.....	17
6.5 Valor nutritivo de la glicerina.....	18
6.6 Fermentación de la glicerina en el rumen.....	19
6.7 Producción de metano.....	21
7. MATERIALES Y MÉTODOS	25
7.1 Localización del experimento.....	25
7.2 Unidades experimentales.....	25
7.3 Técnica de gas <i>in vitro</i>	25
7.4 Dietas experimentales.....	26
7.5 Variables evaluadas.....	27
7.6 Análisis estadístico.....	28
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
9. CONCLUSIONES	44
10. LITERATURA CITADA	45

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Composición de los diferentes tipos de glicerina	13
Cuadro 2. Composición de la glicerina dependiendo del grado de pureza.	19
Cuadro 3. Mezclas de ingredientes	26
Cuadro 4. Dietas experimentales	27
Cuadro 5. Valores promedio de la cinética de fermentación de las mezclas de ingredientes	31
Cuadro 6. Valores promedio de la cinética de fermentación de los diferentes tratamientos	36
Cuadro 7. Efecto de la inclusión de glicerina sobre los parámetros productivos	40
Cuadro 8. Efecto de la inclusión de glicerina sobre la ganancia de peso por periodos	41
Cuadro 9. Efecto de la inclusión de glicerina sobre el consumo de materia seca por periodos	42
Cuadro 10. Efecto de la inclusión de glicerina sobre la conversión alimenticia por periodos	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Calidades de la glicerina	15
Figura 2.	Esquema simplificado de la fermentación de la glicerina a propionato por los microorganismos del rumen	20
Figura 3.	Volumen de gas acumulado a las 72 h de fermentación.	31
Figura 4.	Volumen de gas fraccional a las 72 h de fermentación	33
Figura 5.	Volumen de gas acumulado de cuatro niveles de inclusión de glicerina	37
Figura 6.	Volumen fraccional de gas de los cuatro niveles de inclusión de glicerina	38

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que la ganadería de carne se basa en el uso de pasturas, la práctica del confinamiento proporciona control del tiempo de matanza, independientemente del clima, permitiendo la comercialización de los animales en periodos más favorables, además propicia el constante movimiento del capital invertido en la empresa ganadera y posibilita el valor agregado por el mantenimiento de la calidad de la carne (Neumann *et al.*, 2007). Sin embargo, en los últimos años, con el aumento en la producción de biogases con efecto invernadero durante la producción de rumiantes y el aumento de los precios de los granos destinados a la alimentación de estos, se observa un creciente interés por el uso de ingredientes alternativos, tanto en producción de carne como de leche (Chilibroste, 2012).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que la producción de metano (CH₄) proveniente de la producción de rumiantes contribuye cerca del 18% de la generación total de emisiones de gas, mientras que el dióxido de carbono (CO₂) contribuye cerca del 9% del total las emisiones (FAO, 2006). Por lo tanto, reducir la polución ambiental es un objetivo mundial. El problema del efecto invernadero es un asunto de constante investigación y de noticia en todo el mundo, por lo que, el uso de combustibles de origen fósil ha sido considerado uno de los principales responsables del problema. La Unión Europea, Estados Unidos de Norteamérica, Argentina, entre otros países están impulsando la sustitución del petróleo por combustibles de fuentes renovables, incluyendo principalmente el biodiesel, ante su expresiva capacidad de reducción en la emisión de gases con efecto invernadero (GEI) (Castello *et al.*, 2014).

La expansión de la industria de los biocombustibles tanto a nivel nacional como internacional provee de nuevos posibles alimentos energéticos para los rumiantes, existiendo diferentes tipos de biocombustibles, dentro de ellos podemos encontrar bioetanol, biogás y el más producido el biodiesel (Garzón y Ramírez, 2014).

El biodiesel es producido por la reacción del aceite vegetal con un alcohol de cadena corta (CH_4 o etanol), del cual se obtienen 10 kg de glicerina cruda de cada 90 m³ de biodiesel (Dasari *et al.*, 2005).

La glicerina o glicerol es un compuesto químico que se usa como ingrediente o para su transformación en productos cosméticos, medicamentos y productos alimenticios. En este último la glicerina cruda tiene un valor muy bajo en el mercado a causa de sus impurezas. La composición de esta glicerina varía dependiendo de la materia prima utilizada y de las condiciones del proceso de producción de biodiesel (López y Sanjuán, 2016).

Las impurezas, son los ácidos grasos libres y metanol. Además de esto, contiene agua y algunas sales dependiendo de la materia prima de fabricación del biodiesel (Thompson y He, 2006). Sin embargo, la glicerina posee ciertas características tales como: a) ser un carbohidrato de fácil absorción, b) antiséptico, esta propiedad permite higienizar los alimentos mediante el uso de la glicerina, c) posee un alto grado de gustosidad debido a su sabor dulce y d) posee propiedades aglomerantes debido a su capacidad higroscópica (Fernández, 2014).

Estas características indican que la glicerina puede ser utilizada en las dietas de los rumiantes, por su capacidad de ser absorbido, en la mucosa ruminal en casos de excesos en la dieta, aunque la mayoría será fermentada en el rumen a ácidos

grasos volátiles (AGV). Otras características a considerar para la inclusión de glicerina en la dieta, es que no afecta el consumo, la degradación ruminal de nutrientes ni la digestibilidad, siempre y cuando se use hasta un 10% independientemente del grado de pureza (Schröder y Südekum, 1999).

2. Hipótesis.

La inclusión de glicerina como aporte de energía no afecta negativamente la respuesta productiva de ovinos.

3. Objetivos.

3.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la inclusión de la glicerina sobre el comportamiento productivo en ovinos.

3.2 Objetivo Particular

Evaluar el efecto de la glicerina sobre la cinética de fermentación *in vitro* y producción de metano.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

5. Historia y antecedentes de la producción ovina en México

Los ovinos en México, han estado es manos de los productores más marginados, de menos recurso económicos y alejados de los beneficios de la asistencia técnica y de la tecnología. Sin embargo, la producción ovina, cada vez es más frecuente el flujo de capital financiero, dando origen a una producción pecuaria empresarial muy promisor (Cuellar, 2003).

Sin embargo, Lucas y Arbiza, (2006) señalaron que la problemática que aqueja a la ovinocultura es compleja, porque si hay un buen precio para todo lo derivado del ovino, hay una demanda insatisfecha y mercados potenciales, siendo que es una actividad generadora de empleos. Además, cabe señalar que los problemas que aquejan a la ovinocultura nacional desde hace muchos años, se destaca la pobre eficiencia reproductiva de los rebaños; en un breve análisis de las cifras, muestran que la población es de 6.4 millones de animales y se sacrifican 2.1 millones, lo que significa que solo se sacrifica el 32.8% de la población. Sin embargo, aunque exista un excelente mercado para la producción de carne no se ha logrado aumentar en gran número las cabezas de ovinos ya que de acuerdo con datos del SIAP (2017), se tiene un inventario de 8, 792, 663 cabezas de las cuales se sacrifican 3, 026, 005 significando el 34.41% cuando en otros países rebasan el 50%.

El volumen de producción nacional es deficitario ya que las importaciones de carne de ovino se han mantenido elevadas en los últimos años entre el 43.5 al 50 % del consumo nacional, lo que resulta en menos de 50,000 toneladas de las 100,000 que se consumen actualmente en nuestro país son importadas (Arteaga, 2008).

Por otra parte, la producción ovina se desarrolla en sistemas de pastoreo. Esta situación constituye una gran ventaja económica por el ahorro en los costos de producción, pues esos sistemas generan la mejor relación costo/beneficio y además dan ventajas comparativas a la calidad nutricional de la carne, pero a su vez son muy vulnerables a las sequías extremas, de hecho, en el contexto actual las recientes sequías ha disminuido en la producción ovina (FAO, 2010).

En México se cuenta con una gran diversidad de climas que van desde el templado hasta el cálido y del húmedo al seco (García, 1981). También tiene una orografía muy diversa, con diferentes tipos de suelo y presenta una tremenda pluralidad socioeconómica, con ingresos económicos muy desiguales, aun dentro del mismo medio rural (INEGI, 2009).

A pesar de que México ha ido avanzando en mejorar su productividad, solo genera el 70% de la carne ovina que consume, por lo que tiene un mercado interno potencial de 30,000 toneladas anuales. Sin embargo, nuestro país ha recibido la petición de exportar carne y ovinos a países como Jordania, Turquía, Libia, India y Corea del Sur, además de Centroamérica (Arteaga, 2012).

Las tendencias mundiales indican que la producción de carne ovina se mantendrá estable en los próximos años, pero se prevé un aumento en el precio porque habrá más demanda, sobre todo en los países en vías de desarrollo (FAO, 2013). Las estimaciones indican que el grupo E7, compuesto por China, India, Brasil, Indonesia, México y Turquía tendrá, en el 2050, un poder adquisitivo 75% mayor que el que tiene actualmente el grupo G7 (Estados Unidos, Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia y Canadá) (Hawksworth, 2006).

Los principales estados productores de ovinos en el 2016 fueron el Estado de México con una aportación del 14.4% con 17,299 toneladas, le siguieron los

Estados de Hidalgo, Veracruz, Zacatecas y Puebla con 14143, 9467, 8810 y 8114 toneladas que corresponde al 12.4, 8.0, 7.4 y 7.0% respectivamente (Bobadilla-Soto *et al.*, 2017).

Los índices productivos registrados en los sistemas ovinos de México muestran un incremento en los últimos años resultado de un mayor interés de los inversionistas y a los apoyos gubernamentales para esta actividad. La producción ovina nacional reportada por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en 2003 fue de 40,100 toneladas, presentándose un incremento del 30% en los últimos años (Cuellar, 2003).

5.1 Sistemas de producción en México.

En México se tienen registradas alrededor de 53,000 unidades de producción ovina, que están distribuidas aproximadamente de la siguiente forma: 53% en el centro, 24% en el sur-sureste y 23% en el norte del país (PROGRAN, 2010). La ovinocultura de carne se desarrolla bajo un esquema de tipo regional, en la zona central se producen carne y pieles con razas de lana como Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset y de pelo como la raza Katahdin, Dorper y Pelibuey, la región sur-sureste se orienta a la producción de carne con razas de pelo y produciendo un poco de lana para uso artesanal con ovinos criollos en Oaxaca y Chiapas, mientras que la zona norte se dedica a la producción de carne, sin embargo, fue la principal proveedora de lana en épocas pasadas, por lo que aún se mantiene una población Rambouillet, pero recientemente se ha introducido razas de pelo (Partida *et al.*, 2013).

Los sistemas extensivos y tradicionales, y la falta de prácticas de manejo adecuadas que caracterizan las unidades de producción ovinas, dificulta la

introducción al proceso de manejo en general que estas tienen con relación a las razas criollas (Valerio, 2009). El pastoreo es un sistema que se ha utilizado durante años de manera universal, con el objetivo de disminuir los costos de producción (Cantú, 2007).

En general, los pastos son bajos en energía metabolizable y en proteína digestible estos niveles son causados por los factores ambientales como la época de sequía en donde las pasturas son de baja calidad, resultando imposible alimentar gran número de animales. La calidad del forraje suministrado a un animal no solo influye en los incrementos de peso, sino también cambia el consumo de materia seca y el comportamiento de los animales en los potreros, principalmente el tiempo de pastoreo y descanso (Ruiz, 2002).

El sistema extensivo: se utiliza para la crianza de animales en gran escala, utilizando pasturas nativas o inducidas como fuente principal de alimento, requiere de infraestructura, manejo de los animales y cuidados sanitarios, pero sobre todo las ventajas que ofrece son una rentabilidad excelente con ovinos para la lana, razas europeas de tipo cárnica. Los ovinos tienen la particularidad de pastorear al ras de suelo tomando las partes blandas como los brotes de pasturas tiernas, creando sobrepastoreo. Por otra parte, el sistema semi-intensivo tiene características del sistema intensivo y extensivo, en donde los animales pastorean durante el día y reciben una complementación en el comedero en la tarde, es apropiado para criar ovinos productores de carne y lana (López y Sanjuán, 2016).

Por el contrario, el sistema intensivo: es un sistema en donde los ovinos se mantienen confinados durante toda su vida en corrales. Dentro de esta categoría, existen grandes unidades de producción que mantienen los animales en áreas

determinadas para cada etapa fisiológica, donde se proporcionan los nutrientes para satisfacer las necesidades específicas de cada sexo, edad, peso y etapa fisiológica. Como la alimentación se basa en el uso de dietas integrales con altos niveles de granos de cereales, tiene una alta dependencia del suministro de ingredientes y otros insumos, lo que ocasiona que su rentabilidad esté condicionada a la disponibilidad y las variaciones en los costos de las materias primas para la alimentación de los ovinos. En este tipo de sistema el propósito es la crianza y desarrollo de animales para la venta de pie de cría, la producción, finalización y venta de corderos para el abasto (Partida *et al.*, 2013).

5.2 Adaptación ruminal.

No es fácil establecer un plan de alimentación en ovinos, sobre todo cuando son rebaños que pastorean forrajes en los que se desconoce su valor nutritivo a lo largo del año, además existen diferencias marcadas en los requerimientos de los ovinos dependiendo del ciclo de producción y de la etapa fisiológica en la que se encuentren. Por ello, es recomendable establecer grupos homogéneos en los que sus condiciones productivas o reproductivas sean similares para identificar sus requerimientos y desarrollar programas específicos de alimentación. Respecto a los animales para el abasto, en los corrales de finalización, se manejan tres tipos de alimentos: 1) la dieta de recepción, 2) la dieta de adaptación y 3) la dieta de engorda (Partida *et al.*, 2013).

En sí, el proceso de adaptación se entiende por adaptación al corral o cambio de biota ruminal, pasando de una biota adaptada a fermentar forrajes o alimentos voluminosos a otra adaptada a fermentar grandes cantidades de granos de cereales, en raciones altamente energéticas. Sin embargo, el ganado de engorda puede estar sujeto a una considerable cantidad de estrés y múltiples

factores durante el proceso de comercialización y sobre todo durante su llegada a los corrales de finalización (Loerch y Fluharty, 1999).

La adaptación del animal al ambiente, al llegar al corral, es típico que experimente una sensación de estrés ya que combina estrés previo al transporte y por último al de la llegada a un nuevo lugar, posiblemente la mezcla de su grupo conocido de animales con otros grupos de animales, lo que es predisponente a situaciones de inmunosupresión y aparición de enfermedades, mayormente respiratorias, que impactan no solo en la producción, sino también en la calidad de la carne (Duff y Galyean, 2007).

Los animales recién llegados al corral tienen que reconocer su nuevo bebedero, y por sobre todo, reconocer a los comederos como lugar donde se proveerá alimento, junto con los horarios en los que se entregará el mismo. Adjunto a lo anterior, es bastante común que se les reciba con dietas desconocidas para ellos como las basadas en ensilados de maíz o sorgo principalmente o directamente con granos de cereales y subproductos agroindustriales, que hacen que los animales tarden en consumir el alimento. Ante esto, la opción más lógica para incrementar el reconocimiento de los comederos y consumos semejantes sería recibir a los animales con dietas basadas en henos picados por dos o tres días. Es importante atender el espacio de comederos durante esta etapa, sugiriéndose un espacio de 50 cm por ovino para asegurar el acceso de todos los ovinos, en general se tiene la hipótesis que los ovinos más retirados de los comederos o menos agresivos son los más afectados en situaciones de restricción de espacio o por mayor competencia por la comida, que puede ocasionar un proceso de acidosis ruminal. Después del proceso de adaptación, el espacio se puede disminuir de 35 a 40 cm junto con una frecuencia de entrega de alimento

alrededor de 3 o más veces al día para reducir la competencia por el alimento y la agresión (González *et al.*, 2012).

La adaptación ruminal va de la mano con la adaptación al ambiente, ya que la adaptación ruminal debe aumentar gradualmente conforme se va agregando altos contenidos de grano. Dicho proceso debe durar, de 18 a 21 días bajo condiciones de engorda de 100 días, mientras que es esperable un proceso de casi seis semanas en ciclos más largos. Idealmente se trata de incrementar paulatinamente la cantidad de grano en la dieta, cuidando de no generar fermentaciones anormales que causen incrementos en la concentración de ácido láctico en el rumen, lo que conlleva a procesos de acidosis, primero ruminal, para posteriormente convertirse en acidosis sistémica cuando el pH de la sangre empieza a disminuir. Aunque, no solo la micro flora la que debe adaptarse, sino también el epitelio ruminal y el comportamiento animal debe cambiar para acostumbrarse al incremento en la producción de absorción de ácidos grasos volátiles (AGV) en el primer caso (Penner *et al.*, 2011).

Después del segundo día de agregado de heno, es importante iniciar a entregar una dieta inicial, basada en forrajes y concentrados proteicos y energéticos en una relación 70:30. Esta dieta inicial se debería dar por unos 7 a 10 días, para después pasar a una dieta de transición, la cual consiste en un 50% de granos de cereales, para preparar a la micro flora hacia un salto final de la dieta, que debería ser entregada por otros 7 días. Y finalmente dar un salto a la dieta definitiva, que seguramente contendrá de 70 a 80% de grano de cereales, durante este proceso, la microflora va cambiando, de hecho se han observado cambios en las poblaciones como *Selenomonas ruminantium* o *Fibrobacter succinogenes* (Fernando *et al.*, 2010).

Finalmente, aunque ocurre paralelamente con la adaptación ruminal, el hígado debe adaptarse a los cambios en la dieta que se van sucediendo. El hígado es fundamental en el metabolismo de los AGV producidos en el rumen, la síntesis proteica implicada en la salud del animal. En el hígado se generan productos de oxidación que llevan señales de saciedad que se envían al cerebro de los animales limitando el consumo voluntario de los animales (Allen *et al.*, 2009). En general se propone que esta adaptación hepática puede llevar más tiempo que la adaptación ruminal (Jiang *et al.*, 2014).

6. Glicerina como sub-producto de la industria del biodiesel

Con la expansión de la cadena de biocombustibles, en especial la industria del biodiesel, se trae consigo un aumento en la producción de glicerina, logrando exceder las capacidades de su utilización en el área farmacéutica, cosmética y alimenticia, debido a la implicación económica que conlleva su refinación y procesamiento (Thompson y He, 2006). La glicerina es un azúcar-alcohol, de propiedades físicas y químicas variables, las cuales dependen en gran parte de su grado de pureza. Comúnmente el glicerol, es un importante componente de los triglicéridos y fosfolípidos contenidos en la membrana celular (Chung *et al.*, 2007). Este compuesto, se puede obtener de otras fuentes, como: jabones, ácidos grasos, así como por fermentación microbiana y de forma sintética (Wang *et al.*, 2001).

El término biodiesel se utiliza para describir el combustible formado por monoalquilésteres, resultado de la transesterificación de ácidos grasos de fuentes vegetales y/o animales con un alcohol y una base como catalizadora de la reacción (Zuleta *et al.*, 2007).

Este combustible se produce a partir de grasas y aceites de origen vegetal,

principalmente. Por ejemplo, en países como Estados Unidos, La Unión Europea, Brasil, Argentina, Uruguay, Colombia, Ecuador y Perú utilizan aceites vegetales como: aceite de soya, colza, girasol, coco y aceite de palma, entre otros. A pesar de ello, la producción mundial de aceite, está representada en más de un 50% por la proveniente del aceite de palma, seguida del aceite de soya, con una participación del 25% y el restante a partir del aceite de colza, maní, girasol y algodón (FEDEPALMA, 2007). En la actualidad, se genera una gran cantidad de este compuesto, logrando producir hasta 10 kg/100 kg de biocombustible (Malero, 2012); con lo cual se podría predecir que un incremento en la producción masiva de este biocombustible, trae consigo un aumento inevitable de glicerina como su principal subproducto (Valencia, 2013).

La glicerina obtenida de la industria del biodiesel, contiene ciertas cantidades de jabón y bases, los cuales deben ser neutralizados con un ácido, dando como resultado la glicerina cruda con un 60 a 90% de glicerol (Donkin y Doane, 2007).

La purificación de esta glicerina está limitada por el alto costo que conlleva su refinación para lograr un glicerol de grado industrial (99% de glicerina) (Hazimah *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Composición de los diferentes tipos de glicerina.

Parámetro	Glicerina cruda	Glicerina purificada	Glicerina refinada grado comercial
Glicerina (%)	60-90	99.1-99.8	99.2-99.98
Humedad (%)	1.5-12	0.11-0.8	0.14-0.29
Cenizas (%)	1.5-4.5	0.05	<0.002
Jabones (%)	3-5	0.5	ND ¹
Acidez (pH)	4-9	4-9.1	NA ²
Cloro (ppm)	2.5	1.0	0.6-9.5
Sodio (mg/100g ⁻¹)	1418.8	ND	ND
Metanol (%)	<11.0	ND	ND
Color (APHA)	Oscuro	34-45	1.8-10.3

Fuente: adaptado de Hazimah *et al.*, (2003). ¹No Aplica, ²No Detectable.

6.1 Producción de biodiesel en México.

La emisión de CO₂, la disminución de las reservas de combustibles fósiles, y la volatilidad en el precio de los mismos, han sido elementos para considerar la incursión de los biocombustibles como parte de una estrategia de seguridad energética en diferentes países (Platas *et al.*, 2016). La producción de biocombustibles en la última década, presenta un incremento que va de los 18,000 millones de litros producidos en el año 2000, a 129,000 millones de litros en 2011. El uso de biocombustibles para la generación de energía solo abarca el 5% del total producido por las energías renovables a nivel mundial (Castiblanco y Etter, 2013).

Los principales biocombustibles producidos a nivel mundial son bioetanol, biodiesel, biometano y biohidrógeno, en el caso específico del biodiesel, alrededor de la mitad de la producción proviene de Europa, mientras que el resto

se divide entre Estados Unidos, Brasil, Argentina, Malasia, e Indonesia entre otros. Dichos países tienen como materias primas más utilizadas para la producción son: aceites de colza, soya, girasol y palma aceitera (Acosta y Chaparro-Giraldo, 2009).

En cuanto a México se cuenta con plantas de producción en el norte del país en la cual varios años se produjeron 50,000 l/d a partir de sebo de res y aceites vegetales usados. El biodiesel esta utilizado por Petróleos Mexicanos (PEMEX) refinación como aditivo para la lubricidad del diésel de ultra bajo azufre. Desafortunadamente la planta fue cerrada en meses recientes debido a que PEMEX decidió dejar de comprar biodiesel como lubricante. Pero, además se cuenta con otra planta en Tuxtla Gutiérrez con una producción de 2,000 l/d y Puerto de Chiapas con 28,000 l/d, generado a partir de aceite de palma africana y de aceites vegetales usados. Ese biodiesel producido se utiliza en mezclas B₅ y B₂₀ en 40 vehículos de transporte publico de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula (Matera *et al.*, 2011).

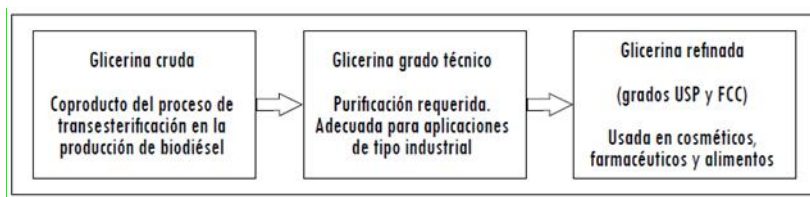
6.2 Tipos de glicerina.

Comercialmente se pueden encontrar tres tipos de glicerina en función de su grado de pureza: glicerina cruda, glicerina grado técnico y glicerina refinada (Figura 1). La glicerina cruda, es el coproducto obtenido durante el proceso de la producción de biodiesel la cual, contiene una gran cantidad de metanol, agua, jabones y sales. Normalmente su contenido de glicerina esta entre el 40-80% en peso (Posada *et al.*, 2009). Este tipo de glicerina es utilizada como aditivo o suplemento para la alimentación de animales. Los análisis nutricionales han demostrado que la glicerina obtenida a partir de aceites de primer uso son principalmente carbohidratos, las cuales pueden mezclarse con ingredientes

proteicos para ser utilizados como suplemento alimenticio (Groesbeck *et al.*, 2008).

La glicerina de grado técnico es un producto de alta pureza con la mayoría de sus contaminantes removidos, libre de metanol, jabones y otros componentes extraños. Mientras que la glicerina refinada es un producto de calidad farmacéutica adecuada para usarla en alimentos, cuidado personal, cosméticos y productos farmacéuticos. Todos los productos elaborados a partir de esta deben de cumplir las especificaciones de farmacopea de Estados Unidos (USP 30). Para ser denominada glicerina USP, para conseguir dicha denominación debe de seguir estrictamente las normas y directrices establecidas por la FDA (Posada y Cardona, 2010).

Figura 1. Calidades de la glicerina (Posada y Cardona, 2009).



6.3 Composición y estructura química de la glicerina.

Las investigaciones desarrolladas en la alimentación animal y sobre todo en rumiantes, consideran a la glicerina como una fuente energética que puede ser utilizada como suplemento o sustituto en sus dietas, prevaleciendo el uso de la glicerina cruda que pura por su costo más elevado (Drakley, 2008).

La composición química de la glicerina varía dependiendo del tipo de materia prima utilizada para la extracción de aceite y del grado de pureza el cual depende al mismo tiempo del proceso de producción de biodiesel, relacionándose con el tipo de catalizador utilizado, la eficiencia de la transesterificación, impurezas en

el material vegetal original, así como en la capacidad de recuperación del metanol y los catalizadores usados (Yang *et al.*, 2012).

La glicerina es un polialcohol de cadena simple de tres átomos de carbono y tres grupos hidroxilos ($\text{CH}_2\text{-OH-CHOH-CH}_2\text{-OH}$). Esta molécula posee gran cantidad de posibles reacciones debido a la presencia de grupos alcohólicos que pueden ser reemplazados por otros grupos funcionales y formar derivados como los ésteres, ácidos y aldehídos (Díaz y Cardiero, 2013).

Es un líquido incoloro, inodoro, de baja toxicidad ambiental, soluble en agua y otros disolventes polares, e insoluble en hidrocarburos. Es una sustancia higroscópica con un pH neutro. Sin embargo, puede ser explosivo si entra en contacto con agentes oxidantes como el clorato de potasio. Tiene un alto punto de ebullición y viscosidad provocado por los puentes de hidrogeno que se forman entre sus moléculas (Tan *et al.*, 2013). Además, constituye una mezcla de diferentes cantidades de glicerina, detergente, alcohol (metanol) y sales (Singahabhandhu y Tezuka, 2010).

Una consideración importante en el uso de glicerina como ingrediente en las dietas, son las impurezas que pueden estar presentes, tales como el metanol, el cual es considerado nocivo, debido a la síntesis de compuestos tales como formaldehído y ácido fórmico en el hígado, siendo este último responsable de los efectos tóxicos, además de una posible utilización del metanol para producir CH_4 a partir de su fermentación en rumen por algunas bacterias metanogénicas (Jarvis *et al.*, 1997).

Thomson y He, (2006), reportan contenidos de metanol de 25.07, 26.06 y 28.2% para las glicerinas producidas a partir de materias primas como: el aceite de canola, soya y colza, respectivamente. Así mismo, Schröder y Südekum, (1999),

encontraron valores de hasta 26.7% de metanol en glicerinas de aceite de soya de baja pureza, por lo que consideran materias primas de glicerina no aptas para la alimentación tanto de rumiantes como de monogástricos.

Además del metanol la glicerina derivada de la industria del biodiesel contiene sal en su composición, con valores máximos de 11.5%. Las sales nombradas están constituidas por potasio, sodio y fósforo. El potasio oscila entre 2.2 a 2.3% en materia seca (MS) y el de fósforo entre 1.05 a 2.36% (Drakley, 2007). Por último el sodio se encuentra en muy bajos porcentajes oscilando entre 0.009 a 0.11% (Schröder y Südekum, 1999).

6.4 Efectos adversos de la suplementación con glicerina.

La principal limitación de la glicerina derivada de la industria del biodiesel es su contenido de metanol, además de otras de sus impurezas son motivo de preocupación (EFSA, 2010). Debido a que el metanol es un potente tóxico tisular que se convierte a formaldehído, sin embargo, en condiciones normales, las bacterias metanogénicas lo transforman en CH₄. Pero en situaciones de acidosis ruminal, las poblaciones de dichas bacterias disminuyen, dejando la protección frente a la toxicidad del metanol desaparecida, en el caso de rumiantes recién nacidos el metanol es tóxico y limitante para el consumo (Galvani, 2008). Después de la ingestión de metanol se observa su máxima concentración plasmática entre los 30 a 90 minutos (WHO/IPCS, 1997). Con una vida media de 2.30 a 3.55 h (Jones, 1987).

Una vez dentro del organismo el órgano encargado de metabolizarlo es el hígado, dando como resultado formaldehídos, CO₂, agua y finalmente ácido fórmico el cual tiene un metabolismo lento por lo que se acumula produciendo acidosis metabólica (ESFA, 2010). La intoxicación por metanol provoca daños

en el nervio óptico, trastornos neurológicos y degeneración grasa del hígado (Drackley, 2008).

Evidentemente, los rumiantes son capaces de eliminar el metanol, sin embargo, existen niveles de tolerancia para el consumo, por lo que en la República Federal de Alemania, la tolerancia es de 0.5% (Seller, 2008) o 0.2% (EFSA, 2010) de metanol en la glicerina. Una publicación reciente de reglamentación emitida por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) indica que los niveles de metanol superiores a 150 ppm puede ser considerado peligroso para la alimentación animal (Hippen *et al.*, 2008). Sin embargo, si existe nueva información que demuestre que los niveles superiores son seguros para el consumo animal es aportada, este límite puede ser modificado (Dasari, 2007).

6.5 Valor nutritivo de la glicerina.

Como ya se mencionó anteriormente la glicerina es un importante componente estructural de los triglicéridos y fosfolípidos. Así como ya se ha establecido su propiedad glucogénica (Wang *et al.*, 2009). Por lo que, en estudios de digestibilidad realizados *in vivo* demuestran que la energía neta varía cuando es acompañada de mayores o menores proporciones de concentrados de almidón entre 1.98 a 2.27 Mcal/kg de glicerina respectivamente (Schönder y Südekum, 1999).

En otros estudios como en el de DeFrain *et al.*, (2004) reportaron 1.91 Mcal/kg de energía neta de lactación cuando alimento vacas recién paridas. Parte de la incertidumbre de asignar un valor energético a la glicerina se debe al efecto del impacto potencial de los diferentes niveles de glicerina que han sido utilizados en la alimentación de rumiantes y de las interacciones con otros componentes de la dieta. El valor energético de la glicerina es aproximadamente similar al valor

energético del almidón del maíz (Donkin *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Composición de la glicerina dependiendo del grado de pureza.

	Pureza de la glicerina		
	Baja	Media	Alta
Agua %	26.8	1.1	2.5
Composición de MS %			
Glicerina	63.3	85.3	99.8
Extracto etéreo	0.71	0.44	NA
P	1.05	2.36	NA
K	2.20	2.33	NA
NA	0.11	0.09	NA
Pb	0.0003	0.0002	NA
Metanol	26.7	0.04	NA

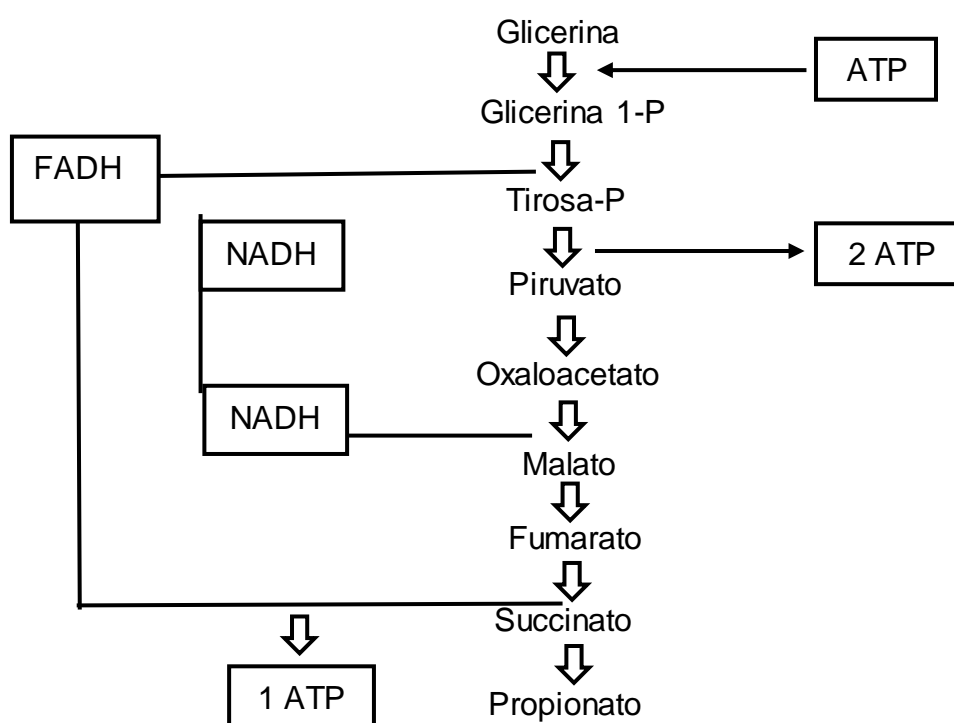
Fuente: Hippen *et al.*, (2008). NA= no aplica.

6.6 Fermentación de la glicerina en el rumen.

Una vez suministrada, la glicerina llega al rumen donde tiene tres posibles destinos: la fermentación, la absorción o continuar sin ser atacado por los microorganismos (Krehbiel, 2008). En este contexto el 13% de la glicerina atraviesa las paredes ruminales, va al intestino y se elimina, un 44% se fermenta a nivel ruminal y el 43% restante se absorbe directamente, lo que significa que tiene una digestibilidad mayor al 80% (Daza, 2009). La fracción que se queda en el rumen, es fermentado produciendo varios metabolitos como ácido propiónico, acético, butírico, CO₂ y CH₄, este es utilizado como fuente de energía por las bacterias ruminales, siendo el propiónico el principal producto de su fermentación (Wang *et al.*, 2009). Tanto el propionato producido por la fermentación como la glicerina absorbida directamente por las paredes del

rumen, tienen como destino el hígado, donde son sustratos de la neoglucogénesis. El control de la gluconeogénesis tiene un componente endocrino en el que se detecta a la hormona insulina responsable de la homeostasis de la glucosa. Esta hormona promueve la captación celular de la glucosa y su oxidación puede disminuir la gluconeogénesis hepática en rumiantes (Brokman y Laarveld, 1986).

Figura 2. Esquema simplificado de la fermentación de la glicerina a propionato por los microorganismos del rumen.



Fuente: adaptado Wytske *et al.*, (1973).

Las bacterias lipolíticas, así como las *Selenomonas ruminantium* y *Selenomonas dextrinosolvens* son de los grupos de mayor participación en la fermentación de la glicerina. Dando como resultado metabolitos diferentes a los tres principales AGV, tales como, succínico, láctico, CO₂ y CH₄ (Abo *et al.*, 2010).

Durante las primeras investigaciones sobre la fermentación de la glicerina por

los microorganismos ruminales, se reporta que este es fermentado principalmente en ácido propiónico utilizándose como fuente de energía, y es el propionato el principal producto de su fermentación, cuando es incluido en las dietas para rumiantes (Wright, 1969; Lee *et al.*, 2011).

Según estudios realizados por Re´mond *et al.*, (1993) los índices máximos de degradación de la glicerina en rumen, determinados usando fermentadores *in vitro* es de 0.52 a 0.62 g/h. otros datos sugieren que utilizando una dosis de 240 g de glicerina las tasas de desaparición en el rumen se encuentran entre 1.2 a 2.4 g/h. al mismo tiempo hay receptores que sugieren que una proporción de la glicerina que ingresa al rumen puede ser absorbido directamente (Trabue *et al.*, 2007).

En estudios donde se suplementa con niveles entre 15 y 25% de glicerina la mayoría desaparecía en 6 h (Berger *et al.*, 1995). Estimaciones de la desaparición de una dosis de 200 g/animal en el rumen desaparece en 2 h (Donkin y Doane, 2007).

En conclusión, se puede decir que el metabolismo de la glicerina se puede dividir en dos etapas; la primera de ellas consiste en un proceso de hidrolisis en el que se separa el glicerol de sus tres ácidos grasos; en la segunda etapa, se fermenta la glicerina para producir AGV y los tres ácidos grasos insaturados liberados del proceso anterior sufren una biohidrogenación en el que se vuelven saturados. Teniendo en cuenta que el pH ruminal juega un papel fundamental en el proceso de biohidrogenación, pues a mayor acidez, las bacterias que se encargan de este proceso son inhibidas (Rodríguez, 2015).

6.7 Producción de metano.

Los rumiantes poseen un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar

y convertir material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales, en alimentos de alta calidad nutritiva. Sin embargo, por sus características propias, este sistema digestivo produce CH₄, un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global generado por actividades productivas con animales domésticos, superado solo por el CO₂ (Montenegro *et al.*, 2000). La producción de CH₄ en los últimos años ha tomado gran importancia en la producción animal debido a sus efectos negativos en el ambiente. Pero un aspecto de mayor relevancia en la producción de rumiantes es la eficiencia energética de los sustratos alimenticios fermentados en el rumen, la cual disminuye en proporciones variables dependiendo de las características de la dieta, debido a que la emisión de este gas, involucra pérdidas a través del eructo (Chandramoni *et al.*, 2000).

De hecho, la investigación en nutrición animal se ha enfocado en su mayor parte a encontrar métodos para reducir las emisiones de CH₄ debido a la ineficiencia energética que ocurre en el rumen y no por el rol del CH₄ en el calentamiento global (Karnati *et al.*, 2009).

La producción de CH₄ en los rumiantes está influenciada por factores como consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento y frecuencia de alimentación. Entre las estrategias para mitigar las emisiones de CH₄ se ha propuesto: reducir el número de animales rumiantes, aumentar el número de animales no rumiantes, manipulación genética de los microorganismos ruminales metanogénicos, desarrollo de nuevas razas menos metanogénicas y manipulación dietético-nutricional; esta última parece ser la de mayor potencial en términos de simplicidad y factibilidad. La manipulación nutricional incluye el uso de forrajes

de alta calidad, alta proporción de granos en la dieta, uso de aditivos, dietas ricas en ácidos grasos insaturados y de extractos vegetales (aceites esenciales), modificación de las prácticas de alimentación y suplementación a dietas basadas en pajas. Estas estrategias de alimentación reducen las emisiones de CH₄ por la modificación de la fermentación ruminal, inhibiendo los metanogénicos y protozoarios o desviando los iones hidrogeno de los metanogénicos (Sharma, 2005).

Como ya se mencionó anteriormente, las características de la dieta tienen un gran efecto en la producción CH₄ a nivel mundial, de ahí que los productores con pocas limitaciones alimentarias para su ganado, dan como resultado menores emisiones de CH₄ y mayores eficiencias energéticas (Carmona, 2005). Sin embargo, como lo indican Johnson y Johnson, (1995), los principales factores responsables de las variaciones en la producción de CH₄ son la cantidad de carbohidratos fermentables en el retículo-rumen, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos. El otro mecanismo es la relación de AGV producidos, la cual regula la producción de hidrogeno y la subsecuente producción de CH₄.

El aspecto de mayor impacto en la metanogénesis es la relación ácido acético:propiónico. Si esta relación llega a 0.5 la pérdida energética puede ser de 0%. Pero si todos los carbohidratos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico las pérdidas energéticas podrían llegar a ser del 33%. Dicha relación puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto las perdidas por CH₄ varían ampliamente (Martínez, 1995).

En relación a lo anterior la glicerina tiene un alto potencial para mitigar las emisiones de CH₄, debido a que Beauchemin *et al.*, (2008), reportaron en

estudios *in vitro* que la producción de propionato aumenta ligeramente reduciendo la relación acetato:propionato. Es decir, los cambios en la fermentación del propionato se han sugerido como un medio para reducir las emisiones de CH₄, ya que los cambios metabólicos que conducen a la producción de propionato pueden disminuir la producción de iones de hidrogeno esenciales para la producción de este gas. Esta disminución se ha observado a las 24 horas de incubación *in vitro* cuando se incluye la glicerina en dietas basadas en granos de cereales o alfalfa (Lee *et al.*, 2011). Debido a que la relación acetato:propionato se reduce progresivamente en un periodo de 3 a 5 días después de la suplementación con glicerina (Re´mond *et al.*, 1993), ocasionado una disminución de CH₄ ruminal a medida que las poblaciones microbianas del rumen se adaptan a la inclusión de glicerina en la dieta (Ávila *et al.*, 2013).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Localización del experimento

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID F y MA) ubicado en la localidad de Ajuchitlán, Colón, Querétaro localizado en las coordenadas geográficas latitud 20.705000 y longitud -100.019167 a una altura de 1,950 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2009).

7.2 Unidades experimentales

Se seleccionaron 40 corderos machos enteros de la crucea $\frac{1}{4}$ Black Belly, $\frac{1}{4}$ Katadhin y $\frac{1}{2}$ Dorper con un peso promedio de 15.5 kg, los cuales se desparasitaron con ivermectina a una dosis de 0.02 mg/kg de peso vivo por vía subcutánea; además se les aplicó vitamina ADE (1 ml por animal por vía intramuscular) antes de iniciar el experimento. Los animales se separaron en cuatro grupos al azar, con 5 corderos en jaula individual de 1 x 1.96 m y cinco en grupo, a los cuales se les proporcionó cuatro tratamientos con 0, 5, 15 y 25% de glicerina alimentándose una vez al día.

La medición del peso se realizara desde el primer día del experimento para después realizarla medición del pesaje cada 15 días con báscula ganadera portátil electrónica.

7.3 Técnica de gas *in vitro*

El inóculo ruminal utilizado se filtró a través de ocho capas de gasas y posteriormente se mezcló con una solución mineral en una porción 1:9 v/v. Se colocó a baño maría a 39°C con burbujeo constante de CO₂. Se elaboraron mezclas de rastrojo de maíz y grano de maíz rolado con: 0, 5, 10, 15, 20, 25,

30, 35 y 40% de glicerina (Cuadro 3), para hacer un total de nueve mezclas. Se pesaron 0.5 g para para la incubación de 72 h y 0.2 g para la de 24 h, la muestra se depositó en frascos de color ámbar de 125 ml de capacidad con 90 ml de inóculo ruminal. Los frascos fueron cerrados herméticamente y colocados en baño maría a 39°C. Se midió la presión de gas en los frascos a las 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24, 30, 36, 48, 60 y 72 h de incubación con un manómetro (0 a 1 kg cm²). Paralelamente se realizó otra incubación, midiendo a las: 6, 12, 18 y 24 h de incubación con una jeringa de 25 ml, para determinar el volumen total de gas producido, para después hacerlo pasar en una trampa de 40 ml de hidróxido de sodio a una concentración 1 molar (cerrados herméticamente) para obtener el volumen residual (CH₄ y gases menores).

Posteriormente se realizó otra prueba de producción de gas *in vitro* con las dietas experimentales para obtener la cinética de fermentación.

Con los datos obtenidos se estimó la cinética de producción de gas y volumen máximo de gas. El diseño fue completamente al azar con tres repeticiones y la comparación de medidas utilizando la prueba Turkey (P = 0.05) con el paquete estadístico SAS (2009).

Cuadro 3. Mezclas de ingredientes

Ingredientes									
Rastrojo de maíz (g)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Grano de maíz rolado (g)	80	75	70	65	60	55	50	45	40
Glicerina (g)	0	5	10	15	20	25	30	35	40

7.4 Dietas experimentales

Los corderos fueron alimentados con dietas isoproteínicas e isoenergéticas incluyendo glicerina (Cuadro 4). La fase experimental tuvo una duración de 90

días, durante este periodo los animales fueron alimentados una vez al día (8:00 am).

Cuadro 4. Composición (%) de las dietas experimentales.

Ingredientes				
Grano de maíz rolado	58	59	47	35
Rastrojo de maíz	20	20	20	20
Pasta de soya	13	13	15	17
Glicerina	0	5	15	25
Melaza	6	0	0	0
Minerales	2	2	2	2
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5
Carbonato	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	100	100	100	100
Análisis calculado				
Proteína %	14	14	14	14
EM Mcal/kg	3.324	3.400	3.451	3.502
ENg Mcal/kg	1.174	1.217	1.223	1.228

7.5 Variables evaluadas.

Consumo y rechazo de alimento: Se midió todos los días de la semana durante toda la prueba de comportamiento, registrando durante dicho periodo la cantidad ofrecida y la rechazada; el consumo voluntario se obtuvo por la diferencia entre ambos valores.

Ganancia de peso: Los borregos fueron pesados al inicio del experimento y posteriormente cada 15 días, antes de ser ofrecido el alimento. La GDP fue obtenida por diferencia entre el peso final menos en peso inicial dividido entre los días del periodo.

Conversión alimenticia: Se midió registrando el peso de los borregos y el consumo de alimento al inicio, cada 28 días y al final, durante el tiempo que duró

la fase experimental. La conversión alimenticia se calculó como el producto del consumo de alimento entre la GDP en kg.

7.6 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar analizando GDP, CMS, eficiencia alimenticia. Fueron utilizados nueve repeticiones por tratamiento. Para evaluar el efecto del tiempo se utilizó el procedimiento MIXED (SAS, 1999).

El modelo utilizado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \delta_i + d_{ij} + t_k + (\delta t)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general

δ_i = Efecto fijo del i-ésimo tratamiento

d_{ij} = Efecto aleatorio asociado con el j-ésimo borrego en el i-ésimo tratamiento

t_k = Efecto fijo del k-ésimo periodo

$(\delta t)_{ik}$ = Efecto fijo de la interacción del i-ésimo tratamiento con el k-ésimo periodo

ε_{ij} = Error aleatorio asociado con el j-ésimo borrego en el i-ésimo tratamiento al k-ésimo muestreo.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los porcentajes de inclusión de glicerina en las dietas experimentales utilizadas para la investigación, se tomaron a partir de la realización de la prueba de titulación (Cuadro 5) mediante la prueba de gas *in vitro*, dando como resultado los porcentajes de inclusión los cuales deberían de haber sido 0, 5, 10 y 20%. Sin embargo, se tomó la decisión de incluir la glicerina en los porcentajes 0, 5, 15 y 25 debido a que los dos último, tienen mayor producción gas (15%), así como también una mayor digestibilidad que el testigo, además se hizo con el propósito de conocer los efectos de altos porcentajes de inclusión de la glicerina en la dieta, sobre el comportamiento de los ovinos y la cinética de fermentación *in vitro*, ya que la mayoría de las investigación ha incluido hasta el 15% de glicerina en la dieta de ovinos.

El efecto de la inclusión de glicerina sobre los parámetros de fermentación *in vitro*, se observan en el (Cuadro 5). Se encontró que la producción del volumen de gas acumulado para cada tipo de tratamiento es diferente, siendo los tratamientos 5 y 10% los que tiene la mayor cantidad de gas producido, mientras que la menor producción de gas la tiene el tratamiento 40%. Sin embargo, la producción de gas aumento a medida que se aumentaba la inclusión de glicerina, especialmente cuando los niveles iban del 5% a 20% de inclusión de glicerina, conforme se aumentó el nivel de glicerina la producción de gas disminuyo (Figura 3). Estos resultados no concuerdan con los reportados con Del Bianco *et al.*, (2018), quien no encontró diferencias sobre la producción de gas total, el tiempo de retraso y las tasas de digestión a las 24 y 48 h de incubación. Además, Krueger *et al.*, (2010), encontraron un incremento lineal en la producción de gas *in vitro* cuando incluyeron glicerina al heno de alfalfa en una dosis de 100, 200 y

400 g/kg de MS.

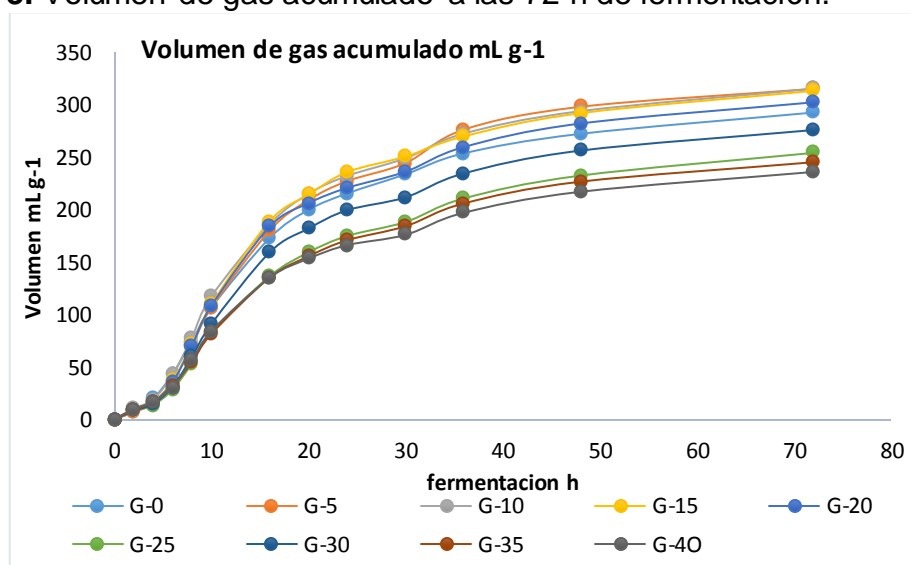
En cuanto a la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (*DIMS*) se encontraron diferencias, siendo el tratamiento testigo con la menor digestibilidad, mientras que los tratamientos 5, 10, 15 y 20% obtuvieron una digestibilidad similar y el tratamiento 40% el que mayor digestibilidad tiene, este último resultado concuerda con Ávila *et al.*, (2011), quienes reportaron un incremento en el porcentaje de digestibilidad cuando se incrementan los niveles de glicerina. Sin embargo, también informaron que no hubo diferencias en la digestibilidad de los nutrientes cuando reemplazo la alfalfa o trigo con glicerina en condiciones *in vitro* o *in vivo* respectivamente. Por otra parte, Wang *et al.*, (2009), evaluando la cinética de digestión *in situ*, con rastrojo de maíz observó un efecto cuadrático con altos niveles de glicerina en dietas de novillos. Esto fue posiblemente al menor valor nutricional del rastrojo de maíz (Peripolli *et al.*, 2014).

La fase *lag* o de retardo no se encontraron cambios en los diferentes niveles de inclusión. Por otra parte, la fase exponencial mostró diferencias en donde el tratamiento 15% tuvo el mayor tiempo, pero los tratamientos 35 y 40% tienen el menor tiempo de fermentación, sin embargo, son los de menor producción de gas. Estos resultados concuerdan con Krueger *et al.*, (2010), quienes evaluaron la incubación *in vitro* del heno de alfalfa demostrando que, aumentar los niveles de glicerina en la dieta no afectan la tasa de colonización del sustrato (2.4h).

Cuadro 5. Valores promedio de la cinética de fermentación de las mezclas de ingredientes

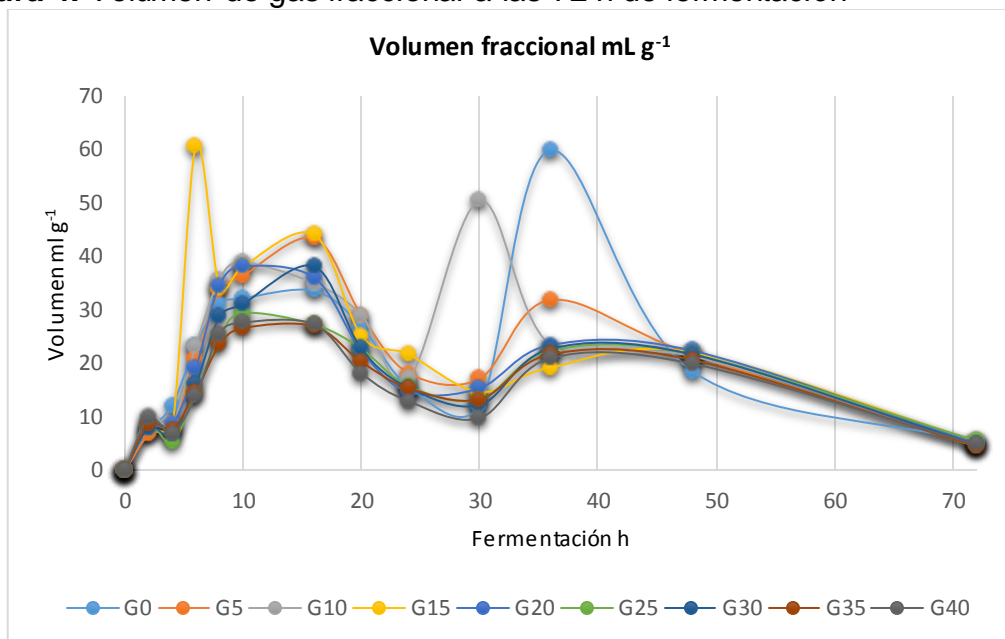
Glicerina %	V Max.	Va	Vb	Vc	S	L	DIMS
		ml g ⁻¹ MS			h ⁻¹	h ⁻¹	%
0	292.50 ^{abc}	74.26 ^a	141.17 ^{abcd}	77.065 ^{ab}	0.054 ^a	3.406 ^{abc}	64.23 ^b
5	315.12 ^a	69.75 ^{ab}	157.39 ^{ab}	87.98 ^a	0.048 ^a	3.680 ^{ab}	75.47 ^{ab}
10	315.19 ^a	78.18 ^a	153.92 ^{abc}	83.09 ^{ab}	0.510 ^a	3.180 ^{abc}	72.11 ^{ab}
15	313.24 ^a	71.12 ^{ab}	164.98 ^a	77.43 ^{ab}	0.054 ^a	3.850 ^a	70.98 ^{ab}
20	302.34 ^{ab}	70.06 ^{ab}	150.64 ^{abc}	81.62 ^{ab}	0.054 ^a	3.613 ^{ab}	79.49 ^a
25	254.08 ^{bcd}	53.26 ^c	121.61 ^{abcd}	79.20 ^{ab}	0.043 ^a	3.173 ^{abc}	75.02 ^{ab}
30	275.83 ^{abcd}	59.58 ^{bc}	139.84 ^{abcd}	76.40 ^{ab}	0.049 ^a	3.660 ^{ab}	78.24 ^{ab}
35	245.15 ^{cd}	54.71 ^c	116.09 ^{cd}	74.35 ^{ab}	0.042 ^a	2.866 ^{bc}	79.70 ^a
40	235.86 ^d	56.42 ^c	109.69 ^d	69.74 ^b	0.045 ^a	2.683 ^{bc}	84.82 ^a
EEM	6.605	1.848	4.250	1.390	0.001	0.090	1.365

a, b, c y d = Medias con letras diferentes en la misma columna, denotan diferencias ($P < 0.05$). Vmax = volumen máximo a las 72 horas de incubación, Va = volumen fraccional de 0-8 h, Vb = volumen fraccional de 10-24 h, Vc = volumen fraccional de 30-72 h, S= fase lag o de retardo, L= fase exponencial de crecimiento microbiológico, EEM = error estándar de la media, y DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Figura 3. Volumen de gas acumulado a las 72 h de fermentación.

Volumen de gas acumulado generado durante la fermentación *in vitro* a las 72 h de rastrojo de maíz, maíz rolado y diferentes niveles de inclusión de glicerina.

Los volúmenes fraccionales denotan diferencias entre los diferentes niveles de inclusión, teniendo la mayor producción de gas el tratamiento 15% dentro de las primeras 8 horas, seguido de los tratamientos 0, 5, 10 y 20% en la fracción *Vb* y finalmente se mantiene una producción similar a las 48 h, manteniendo la producción hasta el final de la incubación (Figura 4). En algunos estudios se tiene la hipótesis, que la glicerina tiene el almidón similar al del maíz (Del Bianco *et al.*, 2018). Teniendo relación con Lee *et al.*, (2011), quienes mencionan que se debe al hecho de que la mayor parte del almidón se fermenta dentro de las primeras 24 h, mientras que la glicerina sigue fermentando después de las 24 h alcanzando una producción de gas similar después de las 48 h de fermentación. Del Bianco *et al.*, (2018). Sugieren que la glicerina tiene un potencial energético similar en el rumen que el almidón, probablemente porque ambos se fermentan principalmente a propionato y tienen una producción de gas similar a las 48 h de fermentación.

Figura 4. Volumen de gas fraccional a las 72 h de fermentación

Volumen de gas fraccional generado durante la fermentación *in vitro* a las 72 h de rastrojo de maíz, maíz roado y diferentes niveles de inclusión de glicerina, en donde Va = volumen fraccional de 0-8 h, Vb = volumen fraccional de 10-24 h, Vc = volumen fraccional de 30-72 h.

La producción de volumen máximo por gramo de MS no hubo diferencias (Cuadro 6), esto es similar a un estudio de Meale *et al.*, (2014), donde no encontraron ningún efecto en la producción de gas en cualquier punto de tiempo (6, 12 y 24 h) o producción de gas acumulativo, donde las concentraciones de la glicerina fueron de 0, 6 y 12 % en la dieta. Por el contrario, la inclusión de glicerina pura a alfalfa o maíz ha demostrado una reducción en la producción de gas (Ferraro *et al.*, 2009). En este punto los autores sugieren que esto puede ser resultado de la producción de propionato como producto final de la fermentación de glicerina, ya que el propionato produce menos gas que el acetato (Blümmel *et al.*, 1997).

Sin embargo, la producción disminuyó con forme se aumentó el porcentaje de glicerina, posiblemente a los mecanismos de acción de los lípidos sobre la metanogénesis que ocurren a través de los efectos en la reducción de la materia

orgánica fermentable en el rumen, dando como resultado un efecto tóxico, debido a que los lípidos no son fuentes de energía para las bacterias ruminales, causando una reducción en la actividad de las bacterias metanogénicas (Machmuller *et al.*, 2003), o por ejercer efectos tóxicos sobre las bacterias celulíticas (Nagajara *et al.*, 1997).

También se observa que la producción de gas fraccional V_a hubo diferencias entre los tratamientos 5 y 25%. En cuanto a V_b no se encontraron diferencias entre los cuatro tratamientos; en V_c el tratamiento 0% es el que muestra la diferencia en la producción de gas fraccional, puesto que no incluye glicerina.

En cuanto a la fase S , se encontraron diferencias entre los tratamiento, de los cuales el tratamiento 0% obtuvo la menor producción mientras que el tratamiento 15% obtuvo la mayor producción, del mismo modo se encontraron diferencias en la fase L , con los tratamientos 0 y 25% con mayor tiempo de crecimiento bacteriano, por el contrario los resultados obtenidos no concuerdan con Ferraro *et al.*, (2009), quienes reportaron una menor producción de gas cuando incluyeron la glicerina (320 μ l y 640 μ l) a una dieta basada en heno de alfalfa, maíz roado, propilenglicol y melaza, mostrando un mayor tiempo de crecimiento microbiológico (10.23 y 12.85 h respectivamente) y al mismo tiempo una disminución en la producción de gas. Además, sugieren que la glicerina ejerce su efecto glucogénico ya sea por ser absorbido directamente o como propionato, por otra parte, la melaza obtuvo una mayor producción de gas, con un corto tiempo en la fase L , lo que indica que se convierte rápidamente en el rumen a AGV debido a que tiene una menor capacidad glucogénica. Sin embargo, si se incluye glicerina en la dieta, la adaptación microbiana pueden cambiar la cinética de fermentación, particularmente en la tasa de producción de gas y su fase de

retraso, por lo tanto, la adaptación de la flora microbiana del rumen puede explicar la mayor velocidad de degradación y la falta de fase de latencia (Re´mond *et al.*, 1993).

Para la producción de CH₄ los tratamientos 0 y 15% muestran diferencias, siendo el tratamiento 15% el que menos CH₄ produce. Estos resultados no concuerdan con los reportados por Meale *et al.*, (2014), quienes no encontraron diferencias en la producción acumulada de CH₄ expresada en mililitros por gramo de MS, al igual que Ávila *et al.*, (2013), informaron que no hubo efecto en las emisiones de CH₄ (mL/g MS) cuando incluyeron glicerina hasta un 21% de MS en dietas de corderos, concluyendo que la disminución en la concentración de fibra detergente neutro de las dietas pudo haber influenciado en sus resultados. Por el contrario, Lee *et al.*, (2011), informaron una reducción de la relación acetato: propionato, asociada con una disminución *in vitro* de CH₄, después de sustituir al heno de alfalfa y maíz con glicerina, sugiriendo que la fermentación de glicerina no resulta en la eliminación de iones de hidrogeno, sino más bien en su capacidad de promover un cambio en la fermentación de los carbohidratos dando como resultado una mayor producción de propionato que de acetato, reduciendo la disponibilidad de hidrogeno para la formación de CH₄.

En la *DIVMS* no se encontraron diferencias. Esto es similar a un estudio realizado por Ávila *et al.*, (2011), quienes informaron que no hubo efectos cuando las concentraciones de glicerina fueron hasta 21 % de MS. Sin embargo, se plantea que el suministro en altas cantidades de glicerina puede conducir a un rumen poco saludable ya que genera una mala conversión alimenticia (CA). Paggi *et al.*, (2004) evidenciaron que la digestibilidad de otros ingredientes en la dieta puede ser reducida con la inclusión de glicerina. Sin embargo, en investigaciones

recientes Krehbiel, (2008) informaron que los microorganismos ruminales se adaptan rápidamente a la utilización de glicerina, ya que el porcentaje de digestibilidad no aumento cuando se incrementan los niveles de glicerina. Por otra parte Hess *et al.*, (2008) encontraron que la glicerina se podía añadir hasta un 15% en la dieta sin afectar negativamente la digestibilidad de la MS o fibra (Cuadro 6).

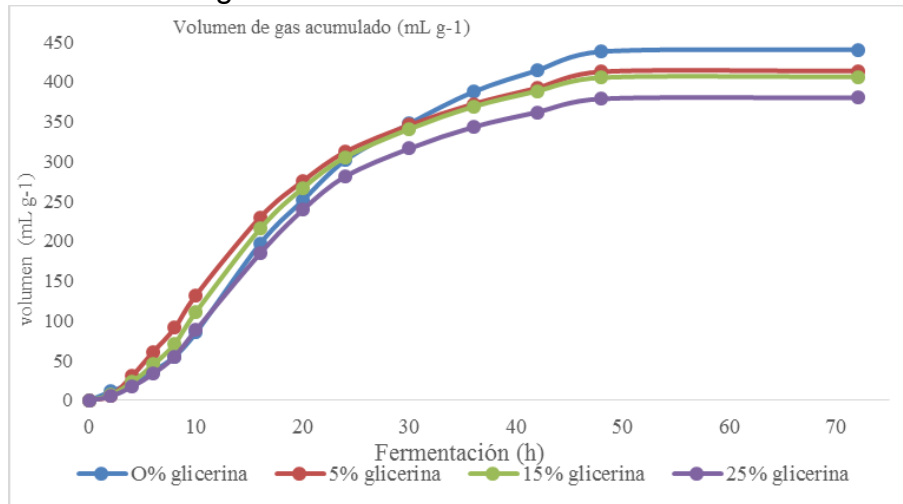
Cuadro 6. Valores promedio de la cinética de fermentación de los diferentes tratamientos

Tratamiento	V max	Va	Vb	Vc	S	L	DIVMS	CH ₄
%			ml g ⁻¹		h ⁻¹		%	
0	440.70	55.26 ^{ab}	246.60	138.85 ^a	0.0413 ^b	5.993 ^a	76.36	40.65 ^a
5	413.90	91.03 ^a	221.36	101.58 ^b	0.0449 ^a	3.630 ^b	70.57	35.30 ^{ab}
15	406.70	71.04 ^{ab}	234.70	100.99 ^b	0.0465 ^a	4.781 ^{ab}	76.54	27.84 ^b
25	380.40	55.25 ^b	226.28	98.89 ^b	0.0463 ^a	5.859 ^a	72.47	34.02 ^{ab}
EEM	10.44	4.90	6.15	5.29	0.0006	0.310	1.10	1.60

Vmax = volumen máximo a las 72 horas de incubación, Va = volumen fraccional de 0-8 h, Vb = volumen fraccional de 10-24 h, Vc = volumen fraccional de 30-72 h, S= fase lag o de retardo, L= fase exponencial de crecimiento microbiológico, DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca y EEM = error estándar de la media. Literales diferentes en las columnas indica diferencias significativas (P < 0.05).

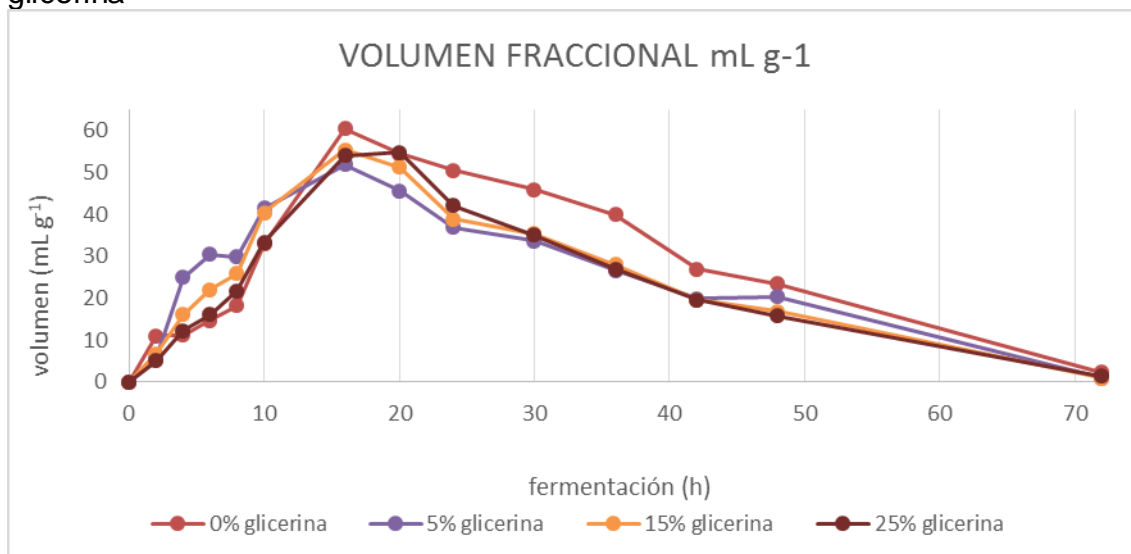
Se encontró que la producción de gas acumulada para cada tipo de tratamiento es diferente, siendo que el tratamiento 0% el que tiene la mayor cantidad de gas producido y el tratamiento con 25% de menor producción de gas. Sin embargo, durante las primeras 20 h los tratamientos 5 y 15% aumentan la producción de gas, pero al final de las 72 h de incubación el comportamiento de la producción de gas disminuye con forme se va aumentando el porcentaje de glicerina (Figura 5).

Figura 5. Volumen de gas acumulado de cuatro niveles de inclusión de glicerina



Para la producción fraccionada de gas, se observó que en *Va* los tratamientos con 5 y 15 % tuvieron mayor fermentación en comparación a los otros dos tratamientos, en *Vb* la mayor producción de gas, la tiene el tratamiento 0 % posiblemente debido a que no tiene glicerina, los tratamientos 5 y 15 % tuvieron la menor producción de gas, mientras que el tratamiento 25% igualo la producción de gas del tratamiento 0% aproximadamente a las 20 h de fermentación, por último en *Vc* el tratamiento 0% se mantuvo por encima de los demás tratamientos, mientras que los tratamientos 15 y 25% tuvieron un comportamiento similar (Figura 6).

Figura 6. Volumen fraccional de gas de los cuatro niveles de inclusión de glicerina



Con respecto a la prueba de comportamiento productivo, los animales tuvieron 15 días de adaptación, para después suministrar las dietas. En relación a las dietas los grupos de animales con los porcentajes 0, 5 y 15 no tuvieron problemas de diarrea al momento de consumir las dietas, sin embargo, los del grupo con 25% tuvieron problemas de diarrea por lo que se tomó la decisión de alimentarlos una semana con la dieta de 15%, después otra semana con el 20% y al finalizar la semana se continuó con la dieta original de 25% ya sin tener problemas de diarrea o falta de aceptación de la dieta.

En relación a los resultados obtenidos en el presente estudio (Cuadro 7), se observaron diferencias en la GDP, siendo mayor la ganancia en el grupo de animales alimentados con el 5%. Estos resultados no concuerdan con Meale *et al.*, (2010), ya que no encontraron diferencias en la GDP. A medida que se aumenta la glicerina en la dieta de 1 a 15% de la MS total, la tendencia de la disminución de la GDP con concentraciones crecientes de glicerina en las dietas, es debido a la reducción en el CMS. De acuerdo con Musselman *et al.*, (2008), la disminución de la GDP se hace más evidente cuando se reemplaza al maíz

rolado por el 15% o más de glicerina en dietas para corderos. Además, estos autores informan que las reducciones de la GDP pueden ser alrededor del 39% como resultado de incluir la glicerina en niveles de hasta 45% de la dieta. Por otra parte Parson *et al.*, (2009), informaron una disminución de la GDP alrededor del 23.1% asociado con una reducción en el CMS del 12.2% entre dietas que contenían de 2 a 16% de glicerina.

Con respecto al CMS, se observaron diferencias entre grupos siendo el tratamiento 15% el de mayor consumo y el 25% el de menor CMS. lamentablemente, hay una escasez de información con respecto al CMS cuando se suplementa con glicerina, aunque estudios previos que evaluaron el CMS se informó que no hubo cambios cuando se reemplazó el almidón por glicerina en dietas para ganado lechero y en ovejas con 10 % de MS o cuando se sustituyó el maíz rolado por el 20% de glicerina en dietas de corderos (Gunn *et al.*, 2010). Resultados semejantes fueron constatados por Barros *et al.*, (2015) y Lage *et al.*, (2010), quienes sugirieron que los altos niveles de glicerina en la dieta pueden influenciar el rechazo del alimento y por consiguiente, la reducción en el CMS en ovinos, otro factor que puede contribuir a la disminución en el CMS es la intolerancia de los microorganismos ruminales a los elevados niveles de material graso. El consumo de este tipo de alimentos comúnmente disminuye cuando los niveles de grasa superan el 6% de MS en la dieta (Palmquiste, 1980). Con relación a la CA se obtuvieron diferencias, en donde el grupo más eficiente fue el de 5%, mientras que la peor conversión fue la del grupo 15%, estos resultados no concuerdan con los descritos por Ávila *et al.*, (2013), quienes no encontraron efecto sobre la CA en ovinos alimentados con diferentes niveles de inclusión de glicerina en la dieta (0, 7, 14 y 21%). Del mismo modo Mach *et al.*,

(2009), no reportaron efectos sobre la CA cuando incluyeron 12% de glicerina en dietas de bovinos. Al igual que los resultados obtenidos por Gunn *et al.*, (2010), utilizando 20% de inclusión de glicerina en la dieta de ovinos en finalización.

Cuadro 7. Efecto de la inclusión de glicerina sobre los parámetros productivos
TRATAMIENTOS

	0%	5%	15%	25%	EEM
GDP	246.11 ^{ab}	273.56 ^a	231.11 ^{ab}	197.67 ^b	7.942
CMS	1560.70 ^a	1522.84 ^a	1644.89 ^a	1221.33 ^b	32.893
CA	6.4796 ^{ab}	5.6564 ^b	7.1770 ^a	6.4743 ^{ab}	0.195

^a y ^b = Medias con letras diferentes en la misma fila, denotan diferencias (P<0.05).

En investigaciones donde se evalúen dietas alimenticias, la mejor respuesta para determinar los efectos en productividad animal es la GDP, donde los animales son pesados periódicamente durante el periodo experimental y al momento de analizar los resultados determinar si hay diferencias entre las tasas de crecimiento de los diferentes grupos experimentales. Sin embargo, CMS es el principal factor que influye en el rendimiento de los ovinos, siendo considerado el punto determinante de aporte de nutrientes necesarios para la atención de las exigencias de mantenimiento y de ganancia de peso de los animales (Sniffen, *et al.*, 1993).

En los resultados del primer periodo no se encontraron diferencias (Cuadro 8). Esto coincide con los efectos esperados si se tiene en cuenta que se ofrecieron dietas isoenergéticas e isoprotéicas, de las cuales se esperaría obtener las mismas GDP (Benítez, 2013). Para el segundo periodo se observaron una leve diferencia entre los tratamientos, siendo el grupo 5% con la mayor GDP y el tratamiento 25% con la menor ganancia. Con respecto al tercer periodo no se

observaron diferencias. Aunque, el menor rendimiento de los corderos sometidos a las dietas con los porcentajes más altos de inclusión de glicerina, es debido a que se produce un menor consumo voluntario de MS. Como la ingestión de MS fue afectada por la inclusión de glicerina, probablemente también hubo el compromiso del consumo de proteína (Lage *et al.*, 2010).

Cuadro 8. Efecto de la inclusión de glicerina sobre la ganancia de peso por periodos (g/d).

Periodo	Tratamientos				EEM
	0%	5%	15%	25%	
1	208.44 ^a	226.44 ^a	193.22 ^a	143.22 ^a	12.48
2	219.89 ^{ab}	248.78 ^a	181.44 ^{ab}	146.56 ^b	11.25
3	252.78 ^a	243.67 ^a	252.33 ^a	174.56 ^a	11.31

^{a y b} = Medias con letras diferentes en la misma fila, indican diferencias (P<0.05).

Como ya se mencionó anteriormente el CMS se ve directamente influenciado por los niveles de inclusión; se ha demostrado que una suplementación con 15% o más de glicerina con base en MS hay una disminución del CMS (DeFrain *et al.*, 2004). Mientras que con niveles de inclusión de 10% no presentan disminución en el CMS ni alteraciones en el comportamiento productivos de los animales (Drackley, 2007). Sin embargo, en este estudio el CMS en el primer y segundo periodo no se observaron diferencias (Cuadro 9). Los resultados obtenidos en los dos primeros periodos concuerdan con Gunn *et al.*, (2010) y Chanjula *et al.*, (2015) quienes no reportaron cambios en el CMS y la digestibilidad cuando incrementaron las concentraciones de glicerina (0 a 20% de la MS), sustituyendo al maíz rolado en dietas de corderos y cabras, pero en el tercer periodo se observaron diferencias, en donde el tratamiento 0 y 15% tuvieron el mayor CMS, resultados semejantes fueron obtenidos por Musselman *et al.*, (2008), quienes

afirmaron que los corderos alimentados con el nivel 0 y 15% de glicerina en la dieta tienen una ingesta mayor de MS, comparado con otros niveles. Sin embargo, Carvalho *et al.*, (2015), informaron que el CMS disminuía conforme se aumentaban los niveles de glicerina (0, 2.65, 5.33, 8.06 y 10.84 %). Donde sus consumos de MS fueron de 580 g/d con la dieta que contenía 10.84% de glicerina, mientras que con la dieta control, les dio como resultado un CMS de 943 g/d, ellos consideran que la variación en el CMS ocurre posiblemente, al hecho de que la glicerina utilizada fue de baja pureza, por lo que, el contenido de metanol y extracto etéreo (EE) contribuyeron de forma aislada o en conjunto para que los animales se rehusaran a consumir la dieta.

Del mismo modo Lage *et al.*, (2010), observaron un descenso en el CMS, argumentando que por el aumento en la producción de propionato, la reducción de la digestibilidad de la FDN y el mayor contenido de EE presente en los niveles más altos de glicerina limitó y redujo el CMS y consecuentemente el rendimiento de los animales (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la inclusión de glicerina sobre el consumo de materia seca por periodos (g/d).

Periodo	Tratamientos				
	0%	5%	15%	25%	EEM
1	790.3 ^a	735.04 ^a	712.54 ^a	710.81 ^a	19.525
2	985.04 ^a	990.81 ^a	1050.30 ^a	917.73 ^a	20.365
3	1265.04 ^a	1261.64 ^a	1333.56 ^a	1092.11 ^b	24.048

^a y ^b = Medias con letras diferentes en la misma fila, indican diferencias (P<0.05).

Los resultados muestran que en el primer periodo no se encuentran diferencias, por lo que, en el segundo periodo se observaron diferencias entre tratamientos,

de los cuales el 25% fue el que obtuvo la menor CA y en el tercer periodo, los tratamientos 0, 5 y 15% son conversiones similares, sin embargo, el tratamiento 25% fue el que obtuvo la mayor CA (Cuadro 10). De acuerdo con Kriehbel, (2008), los animales que consumen glicerina son más eficientes que los animales que tienen la dieta testigo, porque aumenta el metabolismo de los animales, proporcionando un mayor aporte energético a partir de glucosa, generada por el incremento de propionato, a partir de la reducción en la relación acetato: propionato en el rumen. Pyatt *et al.*, (2007) y Lage *et al.*, (2010), reportaron que cuando se sustituyó el 10% de maíz por el 80% de glicerina en la dieta de bovinos y cuando incluyeron 36.20% de glicerina en la dieta de ovinos respectivamente obtuvieron un incremento en la CA del 11%.

Cuadro 10. Efecto de la inclusión de glicerina sobre la conversión alimenticia por periodos

Periodo	Tratamientos				EEM
	0%	5%	15%	25%	
1	3.8832 ^a	3.7552 ^a	4.1752 ^a	3.7644 ^a	0.103
2	4.709 ^{ab}	4.289 ^b	6.352 ^{ab}	7.476 ^a	0.441
3	4.0251 ^a	4.0153 ^a	4.2432 ^a	3.4750 ^b	0.077

^{a y b} = Medias con letras diferentes en la misma fila, indican diferencias (P<0.05).

9. CONCLUSIONES

El aumento en la demanda de energías renovables como el biodiesel a escalas tanto nacional como internacional, ha generado la expedición de altas cantidades de glicerina al mercado, el cual es considerado como el principal coproducto de esta industria. La utilización de glicerina, como fuente energética ha generado gran impacto en estos últimos años en la alimentación animal, en especial en la de rumiantes, debido en gran parte a su bajo costo, como consecuencia del incremento en su oferta por la industria del biodiesel.

En las investigaciones realizadas en la inclusión de glicerina en la dieta tan solo han indicado el efecto en la alimentación de rumiantes con glicerina, el cual en gran medida depende del grado de pureza y del nivel de inclusión de las mismas. Por parte de la presente investigación se confirma la hipótesis de que es posible utilizar la glicerina como una alternativa energética para la alimentación de ovinos en crecimiento, sin alterar el comportamiento productivo.

Además, durante el periodo evaluado, la inclusión de glicerina se generó diferencias en las variables evaluadas (tanto *in vivo* como *in vitro*). Si bien no hubo una gran diferencia entre las variables, lo cual es importante porque la glicerina podría ser utilizada para la alimentación de ovinos manteniendo las expectativas productivas, con un porcentaje de inclusión de 5 a 10%.

10. LITERATURA CITADA

- Abo, E. S., AbuGhazaleh, A. A., Potu, B. R., Hastings, D., Khatta, A. S. M. 2010. Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Anim. Feed Sci. Technol.* 162: 99-105.
- Acosta, O., Chaparro-Giraldo, A. 2009. Biocombustibles, Seguridad Alimentaria y Cultivos Transgénicos. *Revista de Salud Pública.* 11(2):290-300.
- Allen, M. S., Bradford, B. J., Oba, M. 2009. BOARD-INVITED REVIEW: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J. Anim. Sci.* 87:3317-3334.
- Arteaga, C. J. 2008. Situación actual de la ovinocultura en México. AMCO. II Foro de rentabilidad ovina. Boca del Rio, Veracruz, México.
- Arteaga, C. J. D, 2012. Mensaje institucional en el acto Inaugural del VII. Foro Ovino del Estado de México. INIFAP. ICAMEX
- Ávila, J. S., Chaves, A.V., Hernández-Calva, M., Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Wang, Y., Harstad, O.M., McAllister, T.A. 2011. Effects of replacing barley grain in feedlot diets with increasing levels of glycerol on in vitro fermentation and methane production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167:265–268.
- Ávila, J. S., Chaves, V.A., McAllister, A. T., He, L. M., Harstad, M. O., Beauchemin, A. K., McGinn, M. S. 2013. Effects of increasing concentrations of glycerol in concentrate diets on nutrient digestibility, methane emissions, growth, fatty acid profiles and carcass traits of lambs. *J. Anim. Sci.* 90:833–841.
- Barros, M. C. C., Marques, J. A., Ferreira, S. F., Rodrigues, S. R., Santos, G. G., Lemos, S. L., Lana, A. F. 2015. Glicerina bruta na dieta de ovinos confinados: consumo, digestibilidade, desempenho, medidas morfométricas da carcaça e características da carne. *Semina: Ciências Agrárias.* 36(1): 453-466.
- Beauchemin, K.A., Kreuzer, M., O'Mara, F. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust J Exp Agric.* 82: 21-27.

- Benítez, H. S. 2013. Productividad animal de bovinos estabulados suplementados con glicerina cruda. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia. P.101.
- Bobadilla-Soto, E. E., Flores-Padilla, J. P., Perea-Peña, M. 2017. Comercio exterior del sector ovino mexicano antes y después del Tratado de Libre Comercio con América del Norte. *Economía y Sociedad*. 21(37): 35-49.
- Brockman, R.P., Laarveld, B. 1986. Hormonal regulation of metabolism in ruminants: a review. *Livestock Science*, 14: 313 – 334.
- Blümmel, M., H. P. S. Makkar, and K. Becker. 1997. In vitro gas production: A technique revisited. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 77:24–34.
- Cantú. J. 2007. La Rentabilidad de la Cría de ovinos en América Latina. 3 Ed. Zaragoza. España. P. 38.
- Carmona, M.D., Bolívar, D.M., Giraldo, L.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*. 18(1).
- Castello, B, V, C., Eric, H., Bertocco, E., Jane, M., Vey Da Silva, D. A., D'aurea, P., De Oliveira S. V., Patiño, P. R.M. 2014. Glicerina cruda en la dieta de bovinos: efectos sobre los parámetros bioquímicos séricos. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 6(1):86-102.
- Castiblanco, C., Etter, A. 2013. Biofuels as a New Energy Paradigm: the Key Points of Debate after a Decade. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 10:69-92.
- Carvalho, B. C. M., Marques, J. A., Rodrigues, S. R., Ferreira, S. F., Teixeira, C. L., Santos, G. G., Lemos, S. L., Nunes, G. J. J. 2015. Viabilidade econômica do uso da glicerina bruta em dietas para cordeiros terminados em confinamento. *Semina: Ciências Agrárias*. 36(1): 443-451.
- Chandramoni, S. B., Jadhao, C. M., Tiwari, C. M., Khan, M. Y. 2000. Energy metabolism with Particular reference to methane production in muzaffarnagari sheep fed rations in roughage to concentrate ratio. *Animal Feed Science and Technology*. 83: 287-300.

- Chanjula, P., Pakdeechanuan, P., Wattanasit, S. 2015. Effects of feeding crude glycerin on feedlot performance and carcass characteristics in finishing goats. *Small Rumin Res.* 123:95–102
- Chilibroste, P. 2012. Uso de subproductos industriales en la nutrición de bovinos de leche: una oportunidad para la lechería nacional. In XL Jornadas Uruguayas de Buiatría. At Centro Médico Veterinario de Paysandú, Paysandú. 1: 34-42.
- Chung, Y.H., Rico, D. E., Martinez, C. M., Cassidy, T. W., Noirot, V., Ames, A., Varga, G. A. 2007. "Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles". *J.Dairy Sci.* 90: 5682–5691.
- Cuéllar, O. J. A. 2003. Perspectivas de la ovinocultura en México. Memoria del Segundo Seminario. Sobre Producción Intensiva de Ovinos. Villahermosa, Tabasco.
- Dasari, M. 2007. Crude glycerol potencial described. *Feedstuffs.* 23:16-19.
- Dasari, M.A., Kiatsimkuk, P., Sutterlin, W.R., Suppes, G.J. 2005. Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. *Applied Catalysis A: General* 281:225-231. Disponible en: <http://www.renewablealternatives.com/pgpaper.pdf>
- Daza. 2009. Evaluación productiva y económica de una ceba intensiva estabulada aprovechando subproductos agroindustriales y establecida con infraestructuras de bajo costo, en la región Caribe colombiana. Barranquilla.
- Del Bianco, B.P., Alves, F.M., Shenkoru, T., Inácio, M.M., Marostegan de, P.E., Galoro da, S.L., Pinheiro, F.A. 2018. Does partial replacement of corn with glycerin in beef cattle diets affect in vitro ruminal fermentation, gas production kinetic, and enteric greenhouse gas emissions? *Plos One.* 13 (5): 1-18.
- Díaz, Á. A. E., Cadierno, V. 2013. "Glycerol: A promising Green Solvent and Reducing Agent for Metal-Catalyzed Transfer Hydrogenation reactions and Nanoparticles Formation". *Applied Sciences.* 3(1):55-69.

- Donkin, S.S., Doane, P. 2007. "Glycerol as a feed ingredient in dairy rations". Tri-State Dairy Nutrition Conference. Fort Wayne, IN. The Ohio State University, Columbus. 97-104.
- Donkin, S. S., Koser, S. L., White, H. M., Doane, P. H., Cecava, M. J. 2009. Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:5111–5119.
- Donkin, S.S. 2008. Glycerol from biodiesel production: the new corn for dairy cattle. *Revista brasileira de zootecnia.* 37: 280-286.
- Drackley, J.K. 2007. Glycerin as a potential feed ingredient for dairy cattle. (en línea). Illinois, University of Illinois. 3 p. (Illini Dairy Net). Consultado 15 de agosto de 2018. Disponible en <http://www.livestocktrail.illinois.edu/uploads/dairynet/papers/2007%20dd%20Glycerin.pdf>
- Drackley, K. 2008. "Opportunities for Glycerol Use in Dairy Diets". From: Four-State Dairy Nutrition and Management Conference. Dubuque, Iowa. 113-118p.
- Duff, G. C., y Galyean, L. M. 2007. BOARD-INVITED REVIEW: Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 85:823-840.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). 2010. Scientific opinion on the abiotic risks for public and animal health of glycerine as co-product from the biodiesel production from Category 1 animal by-products (ABP) and vegetable oils. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Parma, Italy. s.p.
- Federación Nacional de cultivadores de palma de aceite (FEDEPALMA). 2007. "Balance económico del sector palmero al tercer trimestre de 2007. Boletín Balance Económico. Diciembre 2007. Bogotá.
- Fernández, M.A. 2014. Transformación de subproductos y residuos de agroindustria de cultivos templados subtropicales y tropicales en carne y leche bovina. 1 edición. Ediciones INTA. Bordenave. Buenos Aires. Argentina. P. 200.

- Fernando, S. C., Purvis II, H. T., Najar, F. Z., Sukharnikov, L. O., Krehbiel, C. R., Nagaraja, T. G., Roe, B. A., DeSilva, U. 2010. Rumen microbial population dynamics during adaptation to a high-grain diet. *Appl. Environ. Microbiol.* 76:7482-7490.
- Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., Gutierrez, C. G. 2009. In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154:112–118.
- Galvani, F. 2008. Alimentación de bovinos con subproducto de la industria del biodiesel. Tesis Doctorado. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México, D. F. Instituto de Geografía. UNAM.
- Garzón, L.W., Ramírez, S.A. 2014. Alimentación a base de subproductos de la industria de biocombustibles de la palma de aceite en Colombia. Tesis. Licenciatura. Universidad de la Salle. Bogotá. Colombia.
- González, L. A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K., Ferret, A. 2012. Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behaviour (a review). *Anim. Feed Sci. Technol.* 172: 66-79.
- Groesbeck, C.N., McKinney, L.J., Derouchey, J.M., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Dritz, S.S., Nelssen, J.L., Duttlinger, A.W., Fahrenger, A.C., Behnke, K.C. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mil production and nursery pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 86(9):2228-2236.
- Gunn, P. J., Schultz, A. F., Van Emon, M. L., Neary, M. K., Lemenager, R. P., Rusk, C. P., Lake, S. L. 2010. Effects of elevated crude glycerin concentrations on feedlot performance, carcass characteristics, and serum metabolite and hormone concentrations in finishing ewe and wether lambs. *Prof. Anim. Sci.* 26:298. p. 298-306.
- Hazimah, A. H., Ooi, T. L., Salmiah, A. 2003. "Recovery of glycerol and diglycerol from glycerol pitch. *Journal of Oil Palm Research.* 15(1): 1-5.
- Hawksworth J. 2006. The world in 2050. Pricewaterhouse Coopers, March 2006.

- Hess, B. W., Lake, S. L., Gunter, S. A. 2008. Using glycerin as a supplement for forage-fed ruminants. *J Anim Sci.* 86(2):392.
- Hippen, A., DeFrain, J., Linke, P. 2008. Glycerol and other energy sources for metabolism and production of transition dairy cows. *Ruminant Nutrition Symposium*. Gainesville.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*.
- Jarvis, G. N., Moore, E. R. B., Thiele, J. H. 1997. "Formate and ethanol are the major products of glycerol fermentation by a *Klebsiella planticola* strain isolated from red deer". *J Appl Microbiol.* 83:166–174.
- Jiang, X. Y., Ni, Y. D., Zhang, S. K., Zhang, Y. S., Shen, Z. X. 2014. Identification of differentially expressed proteins in liver in response to subacute ruminal acidosis (SARA) induced by high-concentrate diet. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27:1181-1188.
- Johnson, K. A., Johnson, D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci.* (73):2483–2492.
- Jones, A.W. 1987. Elimination half-life of methanol during hangover. *Pharmacology and Toxicology.* 60: 217-220.
- Karnati, S.K.R., Sylvester, J.T., Ribeiro, C.V.D.M., Gilligan, L.E., Firkins, J.L. 2009. Investigating unsaturated fat, monensin, or bromoethanesulfonate in continuous cultures retaining ruminal protozoa. I. Fermentation, biohydrogenation, and microbial protein synthesis. *J Dairy Sci.* (92):3849-3860.
- Krehbiel, C. R. 2008. Ruminal and physiological metabolism of glycerin. *Journal Animal Science*, 86: 392.
- Krueger, N.A., Anderson, R.C., Tedeschi, L.O., Callaway, T.R., Edrington, T.S., Nisbert, D.J., 2010. Evaluation of feeding glycerol on free-fatty acid production and fermentation kinetics of mixed ruminal microbes in vitro. *Bioresource Technol.* 101: 8469-8472.

- Lage, J. F., Paulino, P. V. R., Pereira, L. G. R., Valadares Filho, S. C., Oliveira, A. S., Detmann, E., Souza, N. K. P., Lima, J. C. M. 2010. Glicerina bruta na dieta de cordeiros terminados em confinamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília. 45(9): 1012-1020.
- Lee, S.Y., Lee, S.M., Cho, Y.B. 2011. Glycerol as a feed supplement for ruminants: in vitro fermentation characteristics and methane production. *Anim Feed Sci Technol*. 166-167.
- López, C.L.E., Sanjuán, C.I.K. 2016. Evaluación de la suplementación con glicerol y torta de palmiste a ovinos en pastoreo rotacional de pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum*). Tesis. Licenciatura. Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá. Colombia.
- Loerch, S. C., Fluharty, L. F. 1999. Physiological changes and digestive capabilities of newly received feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 77:1113-1119.
- Lucas, L. J., Arbiza, A. S. 2006. Situación y perspectivas, la producción de carne ovina en México. *Bayvet*. 21: 22-28.
- Machmuller, A., Soliva, C. R., Kreuzer, M. 2003. Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage proportion. *British Journal of Nutrition*. (90): 529–540.
- Mach, N., Bach, A., Devant, M. 2009. Effects of crude glycerin supplementation on performance and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 87:632–638.
- Malero, J.A., Vicente, G., Paniagua, M., Morales, G., Muñoz, P. 2012. "Etherification of biodiesel-derived glycerol with ethanol for fuel formulation over sulfonic modified catalysts. *Bioresour. Technol.* 103: 142–151.
- Martinez, J. G. C. 1995. Mitigation of emissions of greenhouse gases in Mexico. *Interciencia*. 20(6):336–342.
- Masera, C. O., Coralli, F., García, B. C., Riegelhaupt, E., Arias, C. T., Vega, G. J., Díaz, J. R., Guerrero, P. G., Cecotti, L. 2011. La bioenergía en México situación actual y perspectivas. *Red Mexicana de Bioenergía*.
- Meale, S. J., Chaves, A. V., Ding, S., Bush, R. D., McAllister, T. A. 2014. Effects of crude glycerin supplementation on wool production, feeding behavior, and body condition of Merino ewes. *J. Anim. Sci.* 91: 878-885.

- Menghe, H.Li., Minchew, C.D., Oberle, D.F., Robinson, E. H. 2010. Evaluation of glycerol from biodiesel production as a feed ingredient for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. J. of the World Aquaculture Society. 41(1): 130-136.
- Montenegro, J., Abarca, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.
- Musselman, A. F., Van Emon, L. M., Gunn, J. P., Rusk, P. C., Neary, K. M., Lemenager, P. R., Lake. L. S. 2008. Effects of crude glycerin on feedlot performance and carcass characteristics of market lambs. Am. Soc. Anim. Sci. West. Sect. Proc. 59:353–355.
- Nagaraja, T. G., Newbold, C. J., Van Nevel, C. J., Demeyer, D. I. 1997. Manipulation of ruminal fermentation. In: Hobson, P. N., Stewart, C. S. (Ed.). The rumen microbial ecosystem. London: Blackie Academic & Professional. p. 523–632.
- Neumann, M., Sandini, I.E., Ost, P.R., Falbo, M.K., Lustosa, S.B.C., Pellegrini, L.G. 2007. Desempenho de novilhos confinados alimentados com silagens de milho ou sorgo, associadas a três níveis de concentrado. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 6(3): 365-378. <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/viewFile/239/246>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). 2006. Livestock's Long Shadow Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, ISBN 92-5-105571-8.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). 2010. Evaluación mundial del consumo de carne. http://www.3tres3.com/buscando/fao-evolucion-mundial-delconsumo-de-carne_30869/. Consultado 8 de enero de 2013.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). 2013. Carne y productos cárnicos. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>

- Paggi, R. A., Fay, J. P., Faverin, C. 2004. *In vitro* ruminal digestibility of oat hay and cellulolytic activity in the presence of increasing concentrations of short-chain acids and glycerol. *J Agric Sci.* 142:89–96.
- Palmquist, D. L., Jenkins, T. C. 1980. Fat in lactation rations: review. *Journal of Dairy Science.* Champaign. 63(1): 1-14.
- Parson, G. L., Shelor, K. M., Drouillard, S. J. 2009. Performance and carcass traits of finishing heifers fed crude glycerin. *J. Anim. Sci.* 87:653–657.
- Partida, P. J. A., Braña, V. D., Jiménez, S. H., Ríos, R. F. G., Buendía, R. G. 2013. Producción de carne ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Libro técnico No. 5. Ajuchitlán. Querétaro.
- Penner, G. B., Steele, M. A., Aschenbach, J. R., McBride, W. B. 2011. Molecular adaptation of ruminal epithelia to highly fermentable diets. *J. Anim. Sci.* 89:1108-1119.
- Peripolli, V., Prates, E. R., Barcellos, J.O.J., Wilbert, C.A., Camargo, C.M., Lopes, R.B., Costa, J.J.B.G. 2014. Effect of crude glycerol on in-vitro ruminal fermentation kinetics. *Rev. Bras. Saúde. Prod. Anim. Salvador.* 15(1): 172-181.
- Platas, R. D. E., Zetina, C.P., Vilaboa, A. J., Martínez, H. R. 2016. Adaptación y mitigación del cambio climático con la producción de bioenergéticos en suelos marginales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* P.2857-2866.
- Posada, D. J. A., Cardona, A. C. A. 2010. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel. *Ing. Univ. Bogotá (Colombia).* 14(1): 9-27.
- Posada, J. A., Orrego, C. E., Cardona, C. A. 2009. Biodiesel production: biotechnological approach. *I.Re.Che.* 1 (6): 571-580.
- PROGRAMA NACIONAL GANADERO (PROGRAM). 2010. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Programas/Paginas/PROGRAM.a.spx>

- Re´mond, B., Souday, E., Jouany, J. P. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes. *Anim Feed Sci Technol.* 41:121-132.
- Rodríguez, M. D. A. 2015. Utilización de subproductos de biodiesel en la alimentación de rumiantes. Monografía. Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá. Colombia.
- Rodrigues, F.V., Rondina, D. 2013. Alternativas de uso de subprodutos da cadeia do biodiesel na alimentação de ruminantes: glicerina bruta. *Acta Veterinaria Brasilica.* 7: 91-99.
- Ruiz. R. 2002. Principio y método para estimar el consumo potencial de materia seca de los pastos y forrajes tropicales. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas.*
- Sellers, R.S. 2008. Glycerin as a feed ingredient, official definition(s) and approvals. In: Symposium Ruminant Nutrition (2008, Gainesville). Glycerin as feed for ruminants. Gainesville.
- Sharma, R.K. 2005. Nutritional strategies for reducing methane production by ruminants. *Indian J Res.* 4(1).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2017. Población ganadera. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Singhabhandhu, A., Tezuka, T. 2010. "A perspective on incorporation of glycerin purification process in biodiesel plants using waste cooking oil as feedstock". *Energy.* 35(6):2493-2504.
- Schröder, A., Südekum, K. 1999. Glycerols a by-product of biodiesel production in Diets for ruminants. En: 10o Rapeseed Cogress, Canberra, Australia. URL:<http://www.regional.org.au/au/gcirc/1/241.htm> [consulta: 4/4/08].
- Sniffen, C. J., Beverly, R. W., Mooney, C. S., Roe, M. B., Skidmore, A. L., Black, J. R. 1993. Nutrient requirement versus supply in dairy cow: strategies to account for variability. *Journal of Dairy Science.* 76:3160-3178.
- Tan, H. W., Abdul Aziz, A. R., Aroua, M. K. 2013. "Glycerol production and its applications as a raw material: A review". *Renewable and Sustainable energy Reviews.* 27:118-127.

- Thompson, J., He, B.B. 2006. Characterization of Crude Glycerol from Biodiesel Production from Multiple Feedstock. *Applied Engineering in Agriculture*. 22: 261-265.
- Trabue, S., Scoggin, K., Tjandrakusuma, S., Rasmussen, A. M., Reilly, J. P. 2007. Ruminant fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric Food Chem*. 55:7043-7051.
- Valencia, E. D. M. 2013. Efecto de la suplementación de dietas para vacas lecheras con glicerina cruda, sobre algunos parámetros de la fermentación ruminal, producción y calidad composicional de la leche. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia.
- Valerio, C. D. J. 2009. Análisis de competitividad del sistema ovino y caprino del noreste de la República Dominicana. Tesis Doctorado. Universidad de Córdoba. Córdoba. España.
- Wang, C., Liu, Q., Huo, W.J., Yang, W.Z., Dong, K.H., Huang, Y.X., Guo, G. 2009. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Science*. 12: 15-20.
- World Health Organization/International Programme on Chemical Safety, (WHO/IPCS). 1997. Environmental health criteria methanol. (En línea). Consultado 22 agosto. 2018. Disponible en <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc196.htm>.
- Wright D.E. 1969. Fermentation of glycerol by rumen microorganisms. *N.Z. J. Agric. Res.*12:281-286.
- Wyske D. V., Willemina, M.C., Kapteyn, V.W., Stouthamer, A.H. 1973. Generation of ATP during Cytochrome-linked Anaerobic Electron Transport in Propionic Acid Bacteria. *Journal of General Microbiology*. 76: 31-41.
- Yang, F., Milford, H. A., Runcang, S. 2012. "Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production". *Biotechnology for Biofuels*: 5: 1-10.
- Zuleta, E., Bonet, J., Díaz, L., Bastidas, M. 2007. "Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite crudo de palma africana (*Elais guineensis*) con etanol". *Revista Energética*. 38: 47-53.

