



LEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**PROGRAMA DE POSTGRADO EN RECURSO GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD**

GANADERÍA

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA
CANAL DE OVINOS ALIMENTADOS CON DIFERENTES
NIVELES DE GLICEROL**

URIEL HIDALGO HERNÁNDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Uriel Hidalgo Hernández** Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **Dra. María Esther Ortega Cerrilla**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Comportamiento productivo y calidad de la canal de ovinos alimentados con diferentes niveles de glicerol**

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 27 de Abril de 2018

Firma


Uriel Hidalgo Hernández

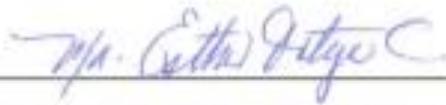
Vo. Bo.


Dra. María Esther Ortega Cerrilla
Consejera

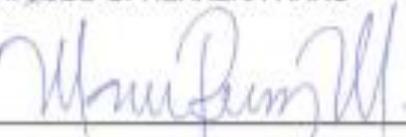
La presente tesis titulada: **COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CANAL DE OVINOS ALIMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE GLICEROL**, realizada por el alumno: **URIEL HIDALGO HERNÁNDEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular Indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A) 
DRA. MA. ESTHER ORTEGA CERRILLA

ASESOR (A) 
DR. JOSÉ G. HERRERA HARO

ASESOR (A) 
DRA. MÓNICA RAMÍREZ MELLA

ASESOR (A) 
DR. PEDRO ZETINA CÓRDOBA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, mayo 2018

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CANAL DE OVINOS ALIMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE GLICEROL

Uriel Hidalgo Hernández, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

Uno de los principales retos de la producción de biodiesel a partir de fuentes vegetales, es la de encontrar nuevas formas de utilizar el glicerol, que es su principal subproducto. El glicerol puede ser usado en la alimentación de rumiantes ya que incrementa la producción de propionato, que es precursor para la síntesis de glucosa, con lo cual aumenta el marmoleado y la calidad de la carne. El objetivo de esta investigación fue evaluar parámetros productivos, ruminales y la calidad de la canal, en ovinos alimentados con cuatro niveles de glicerol (0%, 5%, 10 y 15%) en la dieta. Se utilizaron 40 ovinos machos enteros cruce Suffolk x Hampshire con edad promedio de 60 días y peso promedio de 25 ± 5 kg, alojados en jaulas individuales, con acceso a la dieta y agua *ad libitum*. Los animales se desparasitaron con 1 ml 50 kg^{-1} peso vivo de Ivermectina (Ivomec F®) y se aplicaron 2 ml de vitaminas (Vigantol ADE Fuerte®). Al inicio del experimento los ovinos se sometieron a un periodo de adaptación a la dieta por 20 días. La prueba de comportamiento productivo tuvo una duración de 60 días, evaluando la ganancia diaria de peso (GDP), consumo de materia seca (CMS) y conversión alimenticia (CA). Al inicio y al final de la engorda se evaluó el área del ojo de lomo (*Longissimus dorsi*) y el espesor de grasa dorsal por ultrasonografía en tiempo real. Al final de la prueba se tomaron muestras de líquido ruminal para evaluar pH, N-NH₃ y AGV. Al término de la prueba de comportamiento se escogieron seis animales de cada tratamiento para determinar las características físico-químicas de la carne (*Longissimus dorsi*). Se evaluó el peso vivo al sacrificio (PVS), peso vivo vacío (PVV), peso de canal caliente (PCC), rendimiento de canal caliente (RCC) y pH de canal caliente (pHCC). Durante la vida de anaquel se analizó el pH, color (L, a* y b*), capacidad de retención de agua (CRA), y la composición química de la carne (PC, EE, cenizas y MS), a las 24 h y a los 7, 14 y 21 d *postmortem*, refrigerando las muestras a 4°C. Se utilizó un diseño completamente al azar y los datos se analizaron por PROC MIXED de SAS (9.0), la diferencia entre medias por la prueba de Tukey. Se usó un diseño completamente al azar con medidas repetidas en el tiempo para las variables relacionadas con vida de anaquel y las medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey.

La inclusión de glicerol en las dietas no mostró diferencias ($P>0.05$) en la GDP, CMS y CA entre tratamientos. En relación a las variables ruminales, no se observaron diferencias ($P>0.05$) en los valores de pH, sin embargo la concentración de N-NH₃, y la producción de AGV fueron diferentes entre tratamientos ($P<0.05$). Se incrementó la producción de ácido propiónico, en el tratamiento T4 (22.08% mMol dL⁻¹), en relación a los niveles de glicerol y hubo una disminución de ácido acético T4 (67.59% mMol dL⁻¹). El espesor de grasa dorsal y área del ojo del lomo (*Longissimus dorsi*), mostraron diferencias ($P<0.05$) al inicio y final de la prueba de comportamiento en todos los tratamientos, por lo que el glicerol no tuvo ningún efecto. El PVS, PVV, PCC, RCC y pHCC fueron iguales en los cuatro tratamientos ($P>0.05$). Durante la vida de anaquel el pH y el color mostraron diferencias ($P<0.05$) en los diferentes días, en el mismo tratamiento. Los valores de CRA fueron diferentes ($P<0.05$) entre tiempo y tratamiento, teniendo mayores concentraciones en los tratamientos con la inclusión de glicerol a las 24 h (28.33 ml 100g⁻¹, T3), al día 7 (24.66 ml 100g⁻¹, T2), día 14; (18.71 ml 100g⁻¹, T3) y día 21 (16.31 ml 100g⁻¹, T4). El porcentaje de proteína cruda (PC) fue ($P<0.05$) en los diferentes tiempos que se evaluó la vida de anaquel 24 h (18.22%, T2), día 7 (16.78%, T3), día 14 (15.54%, T4) y día 21 (14.72 %, T2). Por lo tanto se concluye que es posible sustituir glicerol por maíz, como fuente de energía, hasta en 15% en la ración de ovinos, sin que se afecten de forma negativa los parámetros productivos. Se tuvo una mayor concentración de CAR en la carne (*Longissimus dorsi*) efecto causado por la inclusión de glicerol, originando un deterioro más lento de las proteínas sobre la vida de anaquel.

Palabras clave: glicerol, ovinos, calidad de la canal

PRODUCTIVE BEHAVIOR AND CARCASS QUALITY OF SHEEP FED DIFFERENT LEVELS OF GLYCEROL

**Uriel Hidalgo Hernández, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018**

ABSTRACT

One of the main challenges of the biodiesel production, obtained from plant sources, is to find new uses for the glycerol waste which is its main byproduct. However, glycerol might be used as ruminant feed because it increases the production of propionate in the rumen, a glucogenic compound, which in turn increases marbling and the quality of meat. The objective of this study was to evaluate the productive performance, some ruminal variables (pH, N-NH₃, VFA), and carcass and meat quality of sheep fed four different levels (0%, 5%, 10 and 15%) of glicerol in the diet. Forty male sheep (Suffolk x Hampshire) 60 days of age, with an average weight of 25 ± 5 kg were used. Animals were housed in individual cages, with feed and water *ad libitum*. Sheep were dewormed with 1 ml 50 kg⁻¹ live weight of Ivermectin (Ivomec F®), and injected with 2 ml of Vigantol ADE Fuerte®. Animals had an adaptation period to the diet of 20-day. The productive performance trial lasted 60 days. Daily weight gain (DWG), dry matter intake (DMI) and feed conversion (FC) were evaluated. At the beginning and at the end of the productive trial, the loin eye area (*Longissimus dorsi*) and dorsal fat thickness were evaluated by real time ultrasonography. At the end of the productive performance trial ruminal fluid samples were taken by esophageal probe to determine pH, N-NH, and VFA. Also, six animals of each treatment were slaughtered to determine meat quality in the *Longissimus dorsi* muscle. Live slaughter weight (PVS), empty live weight (PVV), hot runner weight (PCC), hot runner yield (RCC) and hot runner pH (pHCC) were evaluated. During the shelf life, the pH, color (L, a * and b *), water retention capacity (CRA), and the chemical composition of the meat (PC, EE, ash and MS), at 24 h 7, 14 and 21 d postmortem, refrigerating the samples at 4 ° C. A completely randomized design was used and the data were analyzed by PROC MIXED of SAS (9.0), the difference between means by the Tukey test. A completely randomized design with repeated measures over time was used for the variables related to shelf life and the means were compared using the Tukey test. The inclusion of glycerol in the diets did not show differences (P> 0.05) in the GDP, CMS and CA between treatments. Regarding the ruminal variables, no differences were

observed ($P > 0.05$) in the pH values, however the concentration of N-NH₃, and the production of VFA were different between treatments ($P < 0.05$). The propionic acid production was increased, in the T4 treatment (22.08% mMol dL⁻¹), in relation to the glycerol levels and there was a decrease in T4 acetic acid (67.59% mMol dL⁻¹). The thickness of dorsal fat and area of the eye of the loin (*Longissimus dorsi*) showed differences ($P < 0.05$) at the beginning and end of the behavior test in all treatments, so glycerol had no effect. The PVS, PVV, PCC, RCC and pHCC were equal in the four treatments ($P > 0.05$). During the shelf life the pH and the color showed differences ($P < 0.05$) in the different days, in the same treatment. The CRA values were different ($P < 0.05$) between time and treatment, having higher concentrations in the treatments with the inclusion of glycerol at 24 h (28.33 ml 100g⁻¹, T3), at day 7 (24.66 ml 100g⁻¹), T2), day 14; (18.71 ml 100g⁻¹, T3) and day 21 (16.31 ml 100g⁻¹, T4). The percentage of crude protein (CP) was ($P < 0.05$) in the different times that the shelf life was evaluated 24 h (18.22%, T2), day 7 (16.78%, T3), day 14 (15.54%, T4) and day 21 (14.72%, T2). Therefore, it is concluded that it is possible to substitute glycerol for corn, as an energy source, up to 15% in the sheep ration, without affecting the productive parameters negatively. There was a higher concentration of CAR in the meat (*Longissimus dorsi*) effect caused by the inclusion of glycerol, causing a slower deterioration of the proteins on the shelf life.

Keywords: glycerol, sheep, carcass quality

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgarme el apoyo económico para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias, en el Colegio de Postgraduados, siendo parte del programa de Recursos Genéticos y Productividad – Ganadería.

En general a todo el personal docente y administrativo que conforma el programa de Ganadería, gracias por su apoyo brindado durante mi estancia.

Dra. Ma. Esther Ortega Cerrilla, agradezco el apoyo incondicional recibido durante mi formación en el Postgrado, dentro y fuera del aula, como consejera y responsable de la elaboración de este trabajo de investigación.

A mis asesores Dr. José G. Herrera Haro, Dra. Mónica Ramírez Mella y Dr. Pedro Zetina Córdoba, gracias por formar parte de este trabajo de investigación, aportando críticas acertadas y constructivas, fortaleciendo mi desempeño académico.

Dra. Magdalena Crosby Galván e Ing. Margarita Crosby Galván, gracias por el apoyo y la disponibilidad recibida en el Laboratorio de Nutrición Animal, para la evaluación de todas las pruebas necesarias para este trabajo de investigación.

... cuando la gratitud es absoluta las palabras sobran (Álvaro Mutis).
A mis padres Fortunato Hidalgo Leal y Margarita Hernández Hernández,
hermanos, familia y amigos.
Con cariño Uriel Hidalgo Hernández.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Producción y consumo de carne en México	2
2.2 Producción de ganado ovino en México	2
2.3 Alimentación de rumiantes	4
2.3.1 <i>Alternativas en la alimentación de rumiantes</i>	6
2.4 Producción de biodiesel.....	7
2.4.1 <i>Glicerol subproducto del biodiesel</i>	9
2.5 Uso de glicerol en la alimentación de rumiantes	10
2.6 Metabolismo del glicerol en rumiantes	13
2.7 Calidad de la carne	14
2.7.1 pH de la carne	15
2.7.2 Color de la carne.....	16
2.7.3 Capacidad de retención de agua	16
2.7.4 Composición química de la carne.....	17
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. OBJETIVOS	19
4.1 Objetivo general	19
4.2 Objetivos específicos.....	19
5. HIPÓTESIS	19

6. MATERIALES Y MÉTODOS	20
6.1 Localización del experimento.....	20
6.2 Unidades experimentales.....	20
6.3 Dieta y tratamientos.....	20
6.4 Comportamiento productivo de los ovinos.....	21
6.4.1 <i>Ganancia diaria de peso</i>	21
6.4.2 <i>Consumo de materia seca</i>	21
6.4.3 <i>Conversión alimenticia</i>	22
6.5 Variables ruminales.....	22
6.5.1 <i>pH, nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y ácidos grasos volátiles (AGV)</i>	22
6.6 Características físico-químicas de la carne.....	23
6.6.1 <i>Espesor de grasa dorsal y área del ojo del lomo (Longissimus dorsi)</i>	23
6.6.2 <i>Rendimiento de la canal</i>	23
6.6.3 <i>Vida de anaquel</i>	24
6.6.4 <i>pH y temperatura del músculo Longissimus dorsi</i>	24
6.6.5 <i>Determinación del color de la carne</i>	24
6.6.6 <i>Capacidad de retención de agua</i>	24
6.6.7 <i>Composición química de la carne</i>	25
6.7 Análisis estadístico.....	25
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
7.1 Variables productivas.....	27
7.2 Variables ruminales.....	28
7.3 Evaluaciones físico-químicas de la carne y vida de anaquel.....	33
7.3.1 <i>Espesor de grasa dorsal y área del ojo del lomo (Longissimus dorsi)</i>	33
7.3.2 <i>Rendimiento de la canal de ovinos</i>	34

<i>7.3.3 Vida de anaquel de la carne</i>	34
<i>7.3.4 pH de la carne</i>	35
<i>7.3.5 Color de la carne</i>	37
<i>7.3.5 Capacidad de retención de agua</i>	41
<i>7.3.6 Composición química de la carne</i>	44
8. CONCLUSIONES	51
9. LITERATURA CITADA	52
10. ANEXOS	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos de energía metabolizable en ovinos	5
Cuadro 2. Requerimiento de proteína cruda para ovinos	6
Cuadro 3. Propiedades físico-químicas del glicerol a 20°C.....	9
Cuadro 4. Composición química de las dietas, sin glicerol y con el 5, 10 y 15% de inclusión	21
Cuadro 5. Peso inicial y final de ovinos alimentados con la inclusión de glicerol (0, 5 10 y 15%) en la dieta	27
Cuadro 6. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta de la ganancia diaria de peso, el consumo de MS y la conversión alimenticia.....	27
Cuadro 7. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta del pH ruminal, concentración de nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles	30
Cuadro 8. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta del espesor de grasa dorsal y área del ojo del lomo (<i>Longissimus dorsi</i>)	33
Cuadro 9. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta a las características de rendimiento de la canal.....	34
Cuadro 10. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta del ph, color (L*, a* y b*) y capacidad de retención de agua en el <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	35
Cuadro 11. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta a la composición química del <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de transesterificación para la producción de biodiesel	8
Figura 2. Concentración de ácidos grasos volátiles en ovinos alimentados con diferentes inclusiones de glicerol (0, 5, 10 y 15%)	31
Figura 3. Valores de pH en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	37
Figura 4. Variación de la luminosidad (L*) en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	39
Figura 5. Variación de rojo a verde (a*) en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	40
Figura 6. Variación de amarillo a azul (b*) en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	41
Figura 7. Capacidad de retención de agua en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	43
Figura 8. Porcentaje de proteína cruda en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	46
Figura 9. Porcentaje de extracto etéreo en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	47
Figura 10. Porcentaje de cenizas en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	48
Figura 11. Porcentaje de materia seca en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel	49
Figura 12. Porcentaje de humedad en <i>Longissimus dorsi</i> , bajo condiciones de almacenamiento (4°C) durante la vida de anaquel	50

1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alternativas como fuente de energía en el mundo ha generado un incremento en la industria de la producción de biodiesel durante los últimos años, evitando de esta manera impactos perjudiciales sobre el ambiente. El biodiesel es el resultado de la transesterificación de ácidos grasos (vegetales y/o animales) con un alcohol (metanol, etanol). Como subproducto de la producción del biodiesel se obtiene el glicerol (Yang *et al.*, 2012).

El glicerol crudo o glicerina, contiene propiedades físicas y químicas que varían de acuerdo a su grado de pureza (Ayoub *et al.*, 2012). Este puede ser usado para alimentación animal por su aporte energético (2,20 Mcal kg⁻¹ MS), principalmente en dietas para rumiantes. El glicerol es un compuesto gluconeogénico, fermentable en el rumen, del que se obtiene principalmente el propionato (Roger *et al.*, 1992; Bergner *et al.*, 1995; Kijora *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2011). Y actúa como precursor de la síntesis de glucosa hepática, como consecuencia, se presenta un incremento en el marmoleado y calidad de la carne (Schoonmaker *et al.*, 2004).

Aunque el glicerol fue reconocido en el 2006 como seguro por la administración de alimentos y medicamentos (FDA), para su uso en concentrados destinados para la alimentación animal. Existe una limitante para su uso, concentraciones mayores al 0.5% de metanol en el glicerol, pueden llegar a ser tóxicos para los rumiantes (Drackley, 2008). La presente investigación tiene como objetivo evaluar los parámetros productivos, ruminales y calidad de la canal en ovinos alimentados con diferentes inclusiones de glicerol.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción y consumo de carne en México

La carne forma parte de una dieta equilibrada, aportando valiosos nutrientes benéficos para la salud. Contiene importantes niveles de proteínas, vitaminas, minerales y micronutrientes esenciales para el crecimiento y el desarrollo (FAO, 2014).

El Consejo Mexicano de la Carne en el 2015, determinó la importación de un total de 2, 108,113 toneladas de cárnicos para satisfacer las necesidades de las demandas de la población mexicana. El origen de las importaciones principalmente es Estados Unidos con una participación del 90% a nivel nacional. El total de cárnicos exportados en 2015 fue de 289, 661 toneladas. Estimando el consumo de carne por persona de 65.1 kilogramos para el mismo año, aumentando 2 kilogramos en los últimos años.

La producción en México de carne de ovino en canal durante el año 2016 fue de 60,362 toneladas, con un valor estimado de más de 3,664 millones de pesos (SIAP, 2016). Sin embargo la producción ovina, sigue dependiendo en gran medida (30%) de la importación, tanto de animales en pie como en canal, logrando satisfacer el 70% del consumo nacional aparente (Cuellar *et al.*, 2012).

Tradicionalmente el consumo de carne de borrego en México, se ha localizado en el centro del país, en los estados de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Querétaro y Morelos (Rubio *et al.*, 2004; Vilaboa, 2006). Así mismo, se estima que de la producción total, básicamente su consumo se realiza en forma de barbacoa, cuyo consumo per cápita se estima en 800 g (Palacios *et al.*, 2000; SAGARPA, 2005) y en menor escala se prepara de otra manera como cordero al pastor, al ataúd, mixiotes, birria y cortes finos de cordero.

2.2 Producción de ganado ovino en México

Existen varios sistemas de producción ovina, que se desarrollan en pastoreo, en estabulación o en la combinación de estas dos modalidades. De acuerdo con la intensidad de su régimen de producción se dividen en: intensivo, semi-intensivo y extensivo, y según su propósito fundamental se dividen en comerciales y de autoconsumo. A su vez, los sistemas comerciales pueden ser intensivos, semi-intensivos o extensivos, y por lo general, los de

autoconsumo son de traspatio y, en algunos casos muy limitados de trashumancia (González-Padilla, 2009).

La ovinocultura que se desarrolla en el territorio mexicano se realiza en diferentes modalidades, existiendo sistemas de producción intensivos y altamente tecnificados hasta los regímenes extensivos de tipo trashumante carente de tecnologías. Cada uno de los sistemas de producción ovina presenta características propias de desarrollo, de acuerdo con la situación socioeconómica de los productores y con las condiciones de cada región. Lo cual genera diferencias en el tipo y las condiciones de los animales al momento de la venta, propiciando una amplia variabilidad en el producto final (Partida *et al.*, 2013). Generalmente los sistemas de producción ovina se tienen en medios rurales y los propietarios son campesinos con recursos tecnológicos limitados, esta actividad tiene la característica de ser familiar complementaria y secundaria a las actividades agrícolas (Cuellar, 2006).

De acuerdo con las estadísticas del SIAP (2016), en México existen 8, 792, 663 cabezas ovinas, de las cuales el 48.9% se localiza en cinco estados de la república y la diferencia se ubica en el resto de las entidades federativas siendo el estado de México el que ocupa el primer lugar con 16%, Hidalgo el segundo con 11.8%, Veracruz, Zacatecas y Puebla con el 8, 7.5 y 7.2% respectivamente.

La producción ovina tiene como objetivo principal la obtención de carne para el consumo humano y en menor escala la producción de lana y leche (López *et al.*, 2000). A pesar de que la mayor demanda parte de la carne para la elaboración de platillos diversos y de cortes finos de corderos o bien para la elaboración de subproductos como jamones, chorizo, albóndigas envasados al alto vacío (Arteaga, 2007). Surge la necesidad de producir la carne que se requiere para satisfacer la demanda nacional, elevando la productividad y, sobretodo, producir carne de mejor calidad, que pueda competir con los estándares que oferta el mercado internacional, mismo que ejerce una presión por su alta competitividad y eficiencia. Por lo que, una alternativa viable, puede ser el uso de subproductos agroindustriales como el glicerol, subproducto de la transesterificación del aceite en la formación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos, en la producción de biodiesel.

2.3 Alimentación de rumiantes

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje. Esta característica se basa en la presencia de bacterias, protozoarios y hongos en el rumen que le permiten la posibilidad de poder degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje, como celulosa, hemicelulosa y pectina (Leek, 1993). Poseen una cámara fermentativa pre-gástrica, formada por tres compartimientos: retículo, rumen y omaso. Estos compartimientos, también llamados pre-estómagos, se caracterizan por tener un epitelio no secretor, a diferencia de la cavidad gástrica propiamente dicha (el abomaso) cuya mucosa es secretora y cumple prácticamente las mismas funciones que el estómago simple del no-rumiantes. A pesar de que los pre-estómagos carecen de enzimas propias para degradar los alimentos ingeridos por el rumiante, es en esta cámara que se realiza la mayor parte de la digestión del alimento debido a la fermentación microbiana anaeróbica, principalmente por hidrólisis (García, 1996). Por esta razón se debe tener presente que al alimentar a los rumiantes, primero se está alimentando a los microorganismos del rumen, y que para su buen desarrollo tiene que haber un medio ruminal favorable para ello. De esta forma hay una simbiosis entre las bacterias y el animal.

La degradación de los sustratos por la acción de bacterias y otros microorganismos se realiza por una hidrólisis enzimática igual que en la digestión glandular; la diferencia mayor es que las enzimas digestivas en la fermentación son de origen microbiano, por lo que se le denomina “digestión aloenzimática”. Esta digestión fermentativa es más lenta y los sustratos son alterados en mayor grado que en la digestión glandular. Además la fermentación ocurre en un medio anaerobio (Cirio, 1998). El tamaño del rumen, cuyo contenido representa normalmente de 10 a 20% del peso vivo de los rumiantes, permite que el alimento se acumule y permanezca en él el tiempo suficiente para que tenga lugar la degradación de la celulosa. Además los movimientos del retículo-rumen y el acto de rumiar contribuyen al desmenuzamiento del alimento exponiéndolo a los microorganismos (Ramírez, 2007).

En ovinos de engorda o finalización la dieta debe formularse para cubrir los requerimientos nutricionales de energía (Cuadro 1), proteína (Cuadro 2), fibra y minerales, con el objetivo de lograr la máxima ganancia de peso en un periodo corto de tiempo y hacer más eficiente la conversión alimenticia (Pelcastre *et al.*, 1997; Nuñez, 2009). Los requerimientos

dependen básicamente de la edad y peso , animales en crecimiento, requieren dietas más altas en proteína (15 – 16 % PC), mientras que los animales en finalización requieren dietas altas en energía y bajas en proteína (12 – 13 % PC), los requerimientos de minerales son menos variables y se mantienen constantes en las dos etapas (Camacho *et al.*, 2005).

De acuerdo con el National Research Council (1985), una deficiencia de energía se manifiesta con una amplia variedad de signos, que varía dependiendo de su severidad. Dairy (2001) determinó que a consecuencia de la deficiencia energética puede existir falta de ganancia de peso como respuesta del animal al no existir relación entre los aportes de energía y nitrógeno para los microorganismos ruminales. Los rumiantes alimentados con dietas convencionales consumen una cantidad limitada de grasa (Hess *et al.*, 2007), situación que provoca deficiencias en la cantidad de energía que aporta la ración. Debido a su alta densidad calórica, la función principal que tiene la grasa en una dieta consumida por rumiantes es proporcionar energía, los ácidos grasos producen más energía que otros nutrientes orgánicos cuando son metabolizados por el animal.

Cuadro 1. Requerimientos de energía metabolizable en ovinos

Categoría de ovino	Cantidad de energía metabolizable requerida (MJ día ⁻¹)		
	15kg	25kg	35kg
Corderos destetados			
<i>ganando 50g día⁻¹</i>	4,4	5,9	6,7
<i>ganando 100g día⁻¹</i>	5,9	7,4	8,1
<i>ganando 200g día⁻¹</i>	8,9	10,4	11,8
Ovinos adultos	45-50kg	60-65kg	
Ovejas secas y carneros			
<i>Manteniendo peso</i>	7,4	8,9	
<i>ganando 100g día⁻¹</i>	12,6	14,8	
Ovejas lactantes y preñadas			
<i>Preñez tardía (únicos)</i>	8,9	11,1	
<i>Preñez tardía (mellizos)</i>	11,1	14,1	
<i>Corderos al pie (únicos y mellizos)</i>	18,5-22,9	25,9-33,3	

Adaptado de Sheep Farming for Meat & Wool (2010).

Si se conocen los requerimientos energéticos de ovinos, de acuerdo a su estado fisiológico, y la concentración energética de los alimentos disponibles, se puede determinar qué cantidad de esos alimentos se deben proporcionar a los animales.

Por otro lado, la proteína limita severamente los procesos productivos cuando la concentración consumida en la alimentación es baja (UNNE, 2011). Deficiencias extremas se convierten en trastornos digestivos severos, pérdida de peso, anemia, edema y resistencia menor a enfermedades (NRC, 1985). La tasa de crecimiento, producción de leche y lana reaccionan a la ingesta inadecuada de proteínas. Las deficiencias o desequilibrios de aminoácidos a nivel de los tejidos conllevan a la disminución de la síntesis de proteínas, a la ingesta reducida de alimento y menor eficiencia en la utilización de los alimentos.

Cuadro 2. Requerimiento de proteína cruda para ovinos

Categoría de ovino	Consumo MS (Kg día⁻¹)	Proteína cruda (g día⁻¹)	Proteína cruda (%)
Mantención (<i>oveja kg de 70 kg PV a la madurez</i>)	1,18	113,3	9,6
Gestación tardía (<i>180-225% de parición esperada</i>)	1,81	202,7	11,2
Lactancia			
<i>Únicos</i>	2,26	300,6	13,3
<i>Mellizos</i>	2,81	415,9	14,8
Corderos destetados precozmente (30 kg) <i>Moderada a alta tasa de crecimiento</i>	0,91	132,0	14,5
Corderos finalizados a 40 kg, a los 4 – 7 meses de edad	1,58	184,9	11,7
Borregas (50 kg)	0,91	82,8	9,1

Adaptado de NRC (2007)

Igual que en el caso de los requerimientos energéticos en ovinos, cuando se conoce el contenido proteico de los alimentos y las necesidades de los animales, se puede formular una ración de suplementación en cuanto a proteína cruda.

2.3.1 Alternativas en la alimentación de rumiantes

Las explotaciones ganaderas deben tener un manejo adecuado para satisfacer las necesidades nutritivas de los animales, además de ser redituables económicamente, ajustándose a los recursos disponibles. Se cuenta con una gran variedad de ingredientes para la alimentación de los animales, que pueden ser de origen vegetal, animal, microbiano, mineral y sintético. Aunque muchos de estos elementos se utilizan en pequeñas cantidades o en situaciones específicas, esta variedad de alimentos dependerá de los productos locales que

se cultivan y cosechan en esa zona y también de la clase y de las especies de los animales. Se han clasificado más de 2,000 productos diferentes como alimento para los animales, sin contar las diferentes variedades que existen de forrajes y granos en el mundo (Church, *et al*, 2004). Además de considerar que los costos de alimentación constituyen más del 60% de los costos de producción. Por tal razón, la rentabilidad de las unidades de producción depende en gran medida de la búsqueda de alternativas que permitan reducir los costos de alimentación.

2.4 Producción de biodiesel

La utilización de aceites vegetales como combustibles se ha documentado desde los años 1896 y 1908 cuando Henry Ford construyó el “Quadricycle” y el “Model T”, ambos automóviles funcionaban con etanol, aceite de cacahuete y de soya (Álvarez-Maciel, 2009; Fuel-Testers, 2009). Rudolph Diesel en el año de 1900 exhibió en París un motor que funciona con aceite de cacahuete (Radish, 2004; Agarwal, 2007). Sin embargo, fue en el año 1973 que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la primera crisis petrolera la cual afectó países como Brasil, Estados Unidos, Nicaragua y otros, que dependen de la importación del combustible fósil (Foidl *et al.*, 1996; Álvarez-Maciel, 2009).

En 1982, en Austria y Alemania se realizaron las primeras pruebas técnicas con combustible vegetal y en 1985, en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de semillas de canola. Dentro de los países pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles, se encuentran Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia (Korbitz, 1999).

México es considerado dentro de los 10 países con mayor producción y exportación de petróleo en el mundo, asumiendo que en los últimos años ha presentado un declive en la producción del crudo, es por ello que se debe enfocar el estudio en fuentes alternativas de energía. En México, en el 2008 entró en vigor la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, la cual es la base de la producción y comercialización de los mismos, fomentando la investigación, desarrollo e innovación tecnológica y la integración de los sectores públicos, privados y sociales (SENER, 2009). En este sentido la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) desde el 2013

ha impulsado la producción de biocombustibles como una alternativa sustentable mediante cultivos específicos (palma de aceite, *jatropha curcas*, higuera y caña de azúcar) en beneficio del sector energético y de los productores del país con la inversión del establecimiento y/o mantenimiento de 7, 939 hectáreas de cultivos y con ello la apertura de siete plantas de biocombustibles, generando una producción de 42.2 millones de litros anuales (SAGARPA, 2017).

El término “biodiesel” se utiliza para describir el combustible compuesto por ésteres alquílicos, resultado de la transesterificación de ácidos grasos de fuentes vegetales y/o animales con un alcohol (Thompson y He, 2006; Donkin y Doane, 2007; Zuleta et al., 2007).

Como se mencionó anteriormente, el método más común para la obtención del biodiesel, es la transesterificación de triglicéridos, utilizando un alcohol (metanol, etanol, propanol o butanol) en presencia de un catalizador (Figura 1) como hidróxido de sodio o potasio, carbonatos o alcóxidos, el cual presenta propiedades físicas muy parecidas al combustible fósil (Zuleta *et al.*, 2007; Salamatina *et al.*, 2010).

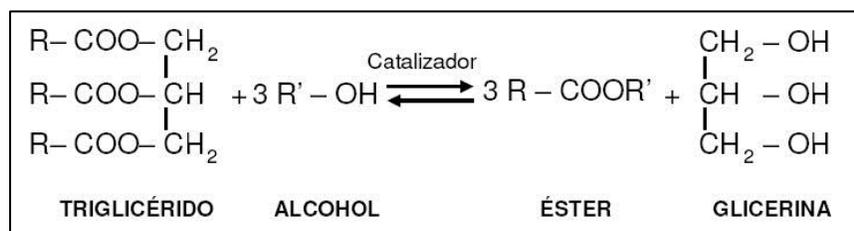


Figura 1. Proceso de transesterificación para la producción de biodiesel

De esta manera, se genera el glicerol a partir de la producción de biodiesel, separándose por centrifugación o gravedad, dejando solo los metil ésteres como producto de interés. La producción de biodiesel en general, utiliza una proporción molar 6:1 de alcohol y aceite, el cual es removido durante la fase de producción de este biocombustible por evaporación, para ser reutilizado posteriormente. En este sentido, la producción de glicerol o glicerina cruda constituye aproximadamente el 10% del total de la producción de biodiesel (Dasari *et al.*, 2005; Karinen y Krause, 2006; Melero *et al.*, 2012), con lo cual se puede predecir un incremento en la producción masiva de este biocombustible, considerándose una

fuerza de energía renovable de grandes beneficios ambientales que trae consigo un aumento inevitable de la glicerina cruda como su principal subproducto.

2.4.1 Glicerol subproducto del biodiesel

Es el resultado de la transesterificación del aceite en la formación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos en la producción de biodiesel y el subproducto principal del proceso de esterificación con un alcohol (Lounglawan *et al.*, 2011). Aproximadamente 0.92 kilogramos de glicerol crudo se producen de cada 10 litros de biodiesel producido.

Desde 1948, aproximadamente, el glicerol se produce sintéticamente a partir de materias primas petroquímicas. En el Cuadro 3 se muestran algunas propiedades físico-químicas (Lide, 2006) del glicerol.

Cuadro 3. Propiedades físico-químicas del glicerol a 20°C

GLICEROL			
	Glicerina		
Conocido	1,2,3-Propanotriol 1,2,3-Trihidroxipropano		
	PROPIEDADES		
Aspecto	Líquido viscoso, higroscópico, incoloro e inodoro.		
Formula química	$C_3H_8O_3$	Calorías	4,32 kcal g ⁻¹
Masa molecular	92,1 g mol ⁻¹	Punto de ebullición	290°C
Densidad relativa (agua= 1):	1,26	Punto de fusión	18°C

Adaptado de Lide., 2006

La glicerina resultante de la fabricación del biodiesel (glicerina bruta vegetal) muestra alrededor del 20% de impurezas (Mota *et al.*, 2009). Las principales impurezas presentes en la glicerina del biodiesel son catalizador, alcohol, ácidos grasos, sales y agua. Este tipo de impurezas depende del tipo de oleaginosas y el tipo de catálisis empleada en la producción de biodiesel. Por lo tanto, la glicerina bruta tiene pocas aplicaciones directas. La purificación de la glicerina bruta se puede realizar mediante destilación a presión reducida, obteniendo un producto transparente. Una solución económica para la purificación del subproducto combina electrodiálisis (membranas) y nano filtros, originando un líquido transparente con bajo contenido de sales. La glicerina parcialmente purificada, a su vez, puede ser purificada cada vez más a través de resinas de intercambio iónico para obtener glicerina con más del 99.5% de pureza (Pagliaro *et al.*, 2008).

El glicerol ha tenido una amplia gama de aplicaciones en alimentos para humanos y en la industria farmacéutica y ha sido utilizado industrialmente para la producción de polímeros sintéticos, cosméticos y productos de cuidado personal. Se puede modificar para producir mono y di glicéridos, que son importantes agentes emulsionantes. Es un líquido viscoso que se ha utilizado en bebidas como agente espesante y usado en la alimentación humana con propiedades humectantes (SDA, 1990). Este último atributo lo hace atractivo para la adición en alimentos para animales, para mejorar el texturizado y control de alimentos en polvo.

Dentro de los retos más grandes de esta industria, está la de crear nuevos mercados para el uso del glicerol crudo que se obtiene como subproducto, durante la producción de biodiesel a partir de fuentes vegetales (Zuleta *et al.*, 2007; Ayoub *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2012).

2.5 Uso de glicerol en la alimentación de rumiantes

En 2006 el glicerol fue reconocido como seguro por la administración de alimentos y medicamentos (FDA), para su uso en concentrados destinados a la alimentación animal.

El glicerol en la nutrición animal (Karinen y Krause, 2006; Duane, 2007; Posada y Cardona, 2010; Ayoub *et al.*, 2012) se ha incluido para mejorar las características de calidad y durabilidad de los alimentos peletizados, en diferentes condiciones de almacenamiento (Südekum y Schröder, 2008).

En rumiantes modifica la relación acetato:propionato aumentando este último (Drouillard, 2008). Por lo que el glicerol puede sustituir parcialmente a los insumos a base de almidón en la dieta, ya que este, se convierte en propionato en el rumen y actúa como precursor de la síntesis de glucosa hepática. Como consecuencia, se tiene un incremento en el marmoleado y calidad de la carne, debido a que la glucosa se usa como fuente de carbono para la síntesis de ácidos grasos (Schoonmaker *et al.*, 2004).

Debido a esta contribución, en la nutrición de rumiantes, el glicerol puede utilizarse como fuente de energía, debido a que este posee un valor energético promedio de 2,20 Mcal kg⁻¹ MS. Sin embargo, el potencial nutricional del glicerol, depende de factores como el tipo de dieta base en el que se incorpore, el nivel de inclusión en las mismas y del grado de pureza

que contenga el glicerol (baja concentración de metanol y sales), a mayor pureza mayor será el aporte energético, siendo igual o superior al maíz ($2,7 \text{ Mcal kg}^{-1}$) y a la melaza ($3,2 \text{ Mcal kg}^{-1}$) (Lebzien y Aulrich, 1993; Schröder y Südekum, 1999; Drackley, 2008).

La contribución en la ingesta de minerales en la alimentación con glicerol, podría ser un factor importante en el consumo de materia seca y necesita tenerse en cuenta a la hora de formular una dieta para rumiantes. Investigaciones realizadas por Thompson y He (2006), en las cuales se caracterizaron glicerinas provenientes de aceites de canola, soya, colza, entre otros, indican que el glicerol crudo podría contener en promedio hasta 2.73% de minerales, compuesto principalmente por sodio y potasio. Resultados similares encontrados en las investigaciones realizadas por Asad *et al.*, (2008) los cuales reportaron, un contenido de minerales de 2-3% (principalmente sodio y potasio), en la glicerina cruda proveniente del aceite de girasol.

Con relación al contenido de ácidos grasos en la glicerina cruda, Thompson y He (2006) y Kerr *et al.*, (2007) reportan que existe una mayor variabilidad, dependiendo del tipo de fuente vegetal de la cual proviene y del grado de pureza de la misma, encontrándose valores que van desde 0.29 hasta 7.17% para el glicerol proveniente del aceite de soya y de 8.88 a 11.68% para el glicerol procedente del aceite de colza y canola, respectivamente. Así mismo, las investigaciones realizadas por Yong *et al.*, (2001), reportaron un promedio de 6.6% de ácidos grasos, contenidos en el aceite de palma de 2.7 - 10.7%.

Ferraro *et al.*, (2009) determinan que el glicerol se ha utilizado como fuente de energía para la prevención de la cetosis en ganado lechero y como suplemento en la alimentación en ganado de carne, leche y doble propósito (Roger 1992, Parsons *et al.*, 2009). A su vez Ogborn (2006), en vacas Holstein evaluaron dosis de glicerol (80% de pureza) en un 3.3% de la materia seca de la dieta (504 g d^{-1}) compuesta por ensilaje de maíz con alfalfa más concentrado de maíz. Los resultados obtenidos indicaron que el glicerol presento una efecto depresivo en relación al consumo de materia seca, sin embargo no se mostraron diferencias significativas en producción ni composición de la leche.

Elam *et al.*, (2008) observaron una reducción lineal en el consumo de MS en vaquillas alimentadas con 0, 7.5 y 15% de glicerol crudo y la eficiencia de conversión se mantuvo sin cambios. Además, indicaron que a medida que se incrementaban los niveles de glicerol

crudo, se presentó una menor deposición de grasa intramuscular en el músculo *Longissimus dorsi*. En novillos Nelore de $565 \pm 45 \text{ kg}^{-1}$ de PV, estabulados consumiendo ensilaje de sorgo, grano de maíz, harina de soja y diferentes inclusiones de glicerol (0 a 12%), se obtuvieron ganancias diarias de peso de 1.2 kg d^{-1} . Donde la inclusión del 12% de glicerol no influyó el consumo de MS, digestibilidad de nutrientes y la síntesis de proteína microbiana. Determinando que el glicerol con bajos niveles de metanol (<1.0%) podría ser un alimento de energía alternativa, pudiendo remplazar hasta un 12% al maíz (Castañeda *et al.*, 2014).

Existen reportes sobre la disminución de pH ruminal cuando se incorpora glicerol a la dieta de vacas lecheras sin encontrar diferencias en la concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) (De Frain *et al.*, 2004). Sin embargo, Calsamiglia y Ferret, (2002) indican que la disminución del pH podría explicar parcialmente la menor digestibilidad de la fibra.

Se han reportado cambios en el consumo de alimento cuando se adiciona glicerol crudo (GC) en la alimentación de rumiantes. Lage *et al.*, (2010) encontraron diferencias ($P < 0.05$) sobre parámetros productivos con niveles de inclusión de glicerol (0, 3, 6, 9 y 12%) en sustitución de maíz en dietas para ovinos en corrales de engorda y determinaron que la diferencia en el consumo de materia seca (CMS) es consecuencia del contenido de metanol (6%) en el glicerol, lo que indica que el glicerol bruto con altos niveles de metanol puede provocar rechazo del alimento y en consecuencia la reducción del CMS en ovinos. Leão *et al.*, (2012) indican que el metanol es un alcohol y ha sido asociado a intoxicaciones, principalmente por problemas metabólicos (acidosis). A diferencia de lo reportado por Gunn *et al.*, (2010) donde utilizaron (0, 15, 30 y 45%) de inclusión de glicerol un en la dietas para ovinos, no encontraron diferencias significativas en parámetros productivos. Wang *et al.*, (2009b) plantearon que la administración de glicerol tendría relación directa con el incremento de la tasa de degradabilidad de la materia seca (MS) y fibra detergente neutro (FDN), al contrario de lo reportado por Shin *et al.*, (2012) quienes indican que la digestibilidad de la primera no se vería modificada pero la digestibilidad de la fibra disminuiría.

2.6 Metabolismo del glicerol en rumiantes

Cuando se suministra el glicerol este llega al rumen donde tendrá tres posibles destinos: la fermentación, la absorción o continuar sin ser atacado por los microorganismos (Krehbiel, 2008). Al ser fermentado en el rumen se producen principalmente ácidos grasos volátiles. Las bacterias lipolíticas, así como las *Selenomonas ruminantium* y *Selenomonas dextrinosolvens* son los grupos de mayor participación en la fermentación del glicerol, produciendo además metabolitos diferentes a los tres principales ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico), tales como, succínico, láctico, CO₂ y CH₄ (Hobson y Mann 1961; Czerkawski y Breckenridge, 1972; Trabue *et al.*, 2007; Krehbiel, 2008; Abo *et al.*, 2010).

En las primeras investigaciones sobre la fermentación del glicerol por los microorganismos ruminales, se reportó que este es fermentado en ácido propiónico, principalmente (Wright, 1969). Bergner *et al.* (1995) al utilizar glicerol marcado con carbono 14 (14C-glicerol), reportaron que la mayor parte del glicerol fue convertido a propionato. De Frain *et al.*, (2004), encontraron un aumento en las concentraciones de propionato, cuando se suplementaba con 430 y 860 gr día⁻¹ de glicerol en vacas de lactancia temprana, resultados que son similares a los de Wang *et al.*, (2009a), quienes suplementaron novillos con 100, 200 y 300 gd⁻¹ de glicerol, reportaron un incremento en la proporción molar de propionato en el rumen, comparado con la dieta control sin glicerol.

Lee *et al.*, (2011), quienes administraron 200 g de glicerol a novillos canulados en el rumen y suplementaron dietas de alfalfa y ensilaje de maíz con 20% de glicerol en cultivos *in vitro*, respectivamente, encontraron una disminución en la relación acetato:propionato, debido a una mayor producción de propionato con disminución en la proporción de acetato.

En los rumiantes el glicerol tiene como destino metabólico la gluconeogénesis, este al ingresar al sistema digestivo del rumiante, previa fosforilación es transformado en ácido propiónico (Ciro, 1996). Cuando existe un exceso de glicerol, este puede ser absorbido tanto por la mucosa ruminal como por la intestinal, siendo una fuente gluconeogénica directa para el rumiante. Esto también sucede con el glicerol endógeno, producto de la lipólisis de las grasas de reserva, ingresa a la vía de la gluconeogénesis previa transformación en glicerol-3P catalizada por la enzima gliceroquinasa, convirtiéndose en glicerol.

En referencia a los resultados anteriores, se puede indicar que el glicerol contribuye a la fermentación microbiana utilizándose como fuente de energía, y es el propionato el principal producto de su fermentación, cuando este es incluido en dietas para rumiantes (Griffith, 1952; Garton et al., 1961; Bergner *et al.*, 1995; Kijora *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 2009a; Lee *et al.*, 2011).

Hasta ahora, las investigaciones han reportado que el glicerol, una vez que entra al rumen sufre una rápida fermentación, sin embargo, ha sido difícil establecer una relación entre el glicerol fermentado en rumen y aquel que se absorbe directamente (Bergner *et al.*, 1995; Drackley, 2008). En este sentido, Remond *et al.* (1993), suplementaron con 240 y 480 gramos de glicerol a vacas canuladas a rumen y alimentadas a base de ensilaje de maíz, indicaron que existe una fermentación del glicerol en rumen dentro de las primeras 4-6 horas, estimando que un 52%, del glicerol administrado, se absorbió como glicerol a través del epitelio ruminal y el 48% restante, fue transformado en propionato dentro del rumen, sugiriendo además, que cuando el glicerol se administra de manera directa al rumen, una importante fracción de este puede ser absorbida directamente a través de las paredes del rumen. Hay variaciones para la desaparición *in vivo* desde el rumen por el metabolismo microbiano; la estimación de la desaparición de una dosis de 200 g de glicerol indica que más del 85% de glicerol en el rumen desaparece dentro de dos horas posteriores a su administración en ganado acostumbrado al consumo de glicerol (Kijora *et al.*, 1998)

2.7 Calidad de la carne

Al examinar la calidad de la carne se debe iniciar con la canal, pues es considerada la unidad básica de comercio de la carne en el mundo. La calidad de la canal es el conjunto de atributos que le otorgan una aceptación total y el precio más elevado el mercado. Una canal de alta calidad tiene una mayor proporción de músculo, la menor cantidad de hueso y solo la grasa indispensable para dar sabor y protegerla de los cambios de temperatura durante la refrigeración protegiendo las propiedades organolépticas de la carne (García – Torres *et al.*, 2005).

Un aspecto muy importante para el productor, es el conocimiento de la demanda del consumidor y la obtención de canales que se ajusten a la misma, para orientar su producción

y hacerla rentable. Así mismo, debe considerar que en ocasiones lo que comercialmente se valora como de máxima calidad no es lo que mayor beneficio le puede reportar, bien porque los costos se elevan considerablemente o porque se pierde potencial productivo.

En la calidad de la carne influyen varios factores que permiten que ésta sea aceptada por el consumidor. Algunas características van desde la higiene e inocuidad del producto, su contenido nutricional, y las características organolépticas que determina la aceptación por parte del consumidor (Kannan *et al.*, 2002; Hui *et al.*, 2006; Aberle *et al.*, 2001).

Las propiedades organolépticas o sensoriales son percibidas directamente por el consumidor al comprar y comer el producto. Existen productos ricos en nutrientes que no se aceptan como alimentos por no satisfacer los requerimientos sensoriales de los consumidores. Para la carne las principales características que se consideran al momento de comprarla son el color, la terneza, la jugosidad y posteriormente el sabor, al momento de consumirla, siendo la terneza la más importante para la mayoría de los consumidores (Garriz, 2001).

La composición de la canal de ovino está influenciada por el peso del animal, la raza, el sexo, la tasa de crecimiento y la alimentación. El color, la dureza y el sabor de la carne son considerados como los criterios de calidad más importantes en el ganado ovino. La textura de la carne es valorada como el aspecto más importante por los consumidores y está influenciada por el pH, el estado contráctil de las proteínas del músculo y por el tejido conectivo (Terrescano, 2009).

2.7.1 pH de la carne

Este puede influir directamente en las características de la carne, en propiedades como suavidad, color, sabor y capacidad de retención de agua. Al encontrarse relacionado con el agua ligada en el músculo, y a los cambios en la apariencia y la calidad, ya que al descender el pH se modifica la disponibilidad de energía.

El pH del tejido muscular desciende durante las primeras horas posteriores al sacrificio debido al desarrollo de la glucólisis anaeróbica hasta el establecimiento del *rigor mortis*. Factores como el manejo *antemortem* y el método de sacrificio pueden alterar el pH normal de la carne y llevar a la formación de carne pálida, suave y exudativa (PSE) o carne oscura, firme y seca (DFD) (Hui *et al.*, 2006).

2.7.2 Color de la carne

Para el consumidor la primera impresión que recibe de un alimento se establece mediante el sentido de la vista y entre las propiedades que observa destacan el color, la forma y las características de la superficie (Behrends *et al.*, 2003; Hui *et al.*, 2006).

Entre los factores que definen la calidad de un alimento, el color es primordial, ya que este puede ser rechazado por su apariencia (color) sin valorarse otras propiedades, como su aroma, textura o sabor (Cannon *et al.*, 1996).

El color de la carne está dado principalmente a tres pigmentos. La deoxymióglobina (DeoxyMb) corresponde al pigmento púrpura que se observa en los cortes de carnes frescas. Una vez que la DeoxyMb se expone al aire ésta se comienza a oxigenar a oximióglobina (OxyMb), la cual proporciona el color característico a la carne de rojo brillante o cereza. Después de algunas horas y días expuestas al aire, la OxyMb se convierte en metamióglobina (MetMb), en la cual una molécula de agua sustituye la molécula de oxígeno y produce un color marrón. Ambas moléculas, la DeoxyMb y OxyMb son hemoproteínas, donde el hierro existe en forma ferrosa (Fe^{+2}), mientras la MetMb la posee en la forma férrica (Fe^{+3}). La conversión de la forma ferrosa a la férrica es el resultado del proceso de oxidación (Liu *et al.*, 1995; Aberle *et al.*, 2001; Mancini *et al.*, 2005; Hui *et al.*, 2006).

2.7.3 Capacidad de retención de agua

Químicamente la pérdida de retención de agua se debe a la reducción en el pH de la carne, por la producción de ácido láctico, haciendo que este se aproxime a los valores de punto isoeléctrico de las proteínas, donde la carga neta es “0”, por lo tanto, no se puede retener agua mediante enlaces electrostáticos (Lawrie, 1985).

Una de las propiedades de una proteína cárnica, es la capacidad de retención de agua (CRA), tanto para retener la propia como añadida, cuando es sometida a un proceso de industrialización (Hamm, 1960). La carne debe conservar el agua cuando se somete a factores externos (corte, presión, otros), ya que esto es una propiedad que se relaciona a la calidad de la carne, puesto que influye antes y durante el manejo de cocción que le da el consumidor en casa. Un elevado valor de retención de agua mantiene la jugosidad de la carne y mejora el rendimiento del proceso de cocción (López y Casp, 2004).

2.7.4 Composición química de la carne

La composición química de la carne comprende el análisis proximal, en el que se mide la cantidad de proteína cruda (PC), el extracto etéreo (EE) o grasa cruda, la materia mineral o ceniza y la humedad. El músculo está formado principalmente por la mioglobina, el complejo actino – miosina y el tejido conectivo (colágeno). Los carbohidratos se pueden encontrar en el músculo en forma de glucógeno. La materia mineral aporta los elementos necesarios para el organismo, destacándose las concentraciones de hierro, fósforo, potasio y sodio. Las vitaminas principales presentes son las del complejo B, aunque están presentes en pequeñas cantidades, son muy elevadas en comparación con lo que aporta cualquier otro alimento de origen vegetal (Urlich, 2009).

Los lípidos forman parte de todas las membranas celulares; en la carne se encuentran en forma de grasa subcutánea, intermuscular e intramuscular. Los fosfolípidos constituyen el principal componente de la estructura de las membranas celulares, mientras que los triglicéridos son la principal manera en la que se almacenan las grasas del cuerpo (Warriss, 2003).

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el incremento en el precio del maíz y otros cereales como materias primas utilizadas en la alimentación para rumiantes, hace indispensable buscar alternativas económicas y que cumplan con los requerimientos para la alimentación del ganado (Drackley, 2008). Así mismo, la expansión de la industria de los biocombustibles en un futuro en México, tendrá como consecuencia la producción de grandes cantidades de glicerol como subproducto, esto se convierte en un alternativa para estudio y alimentación del ganado, ya que esta posee características nutricionales de gran interés (Donkin, 2008).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar el comportamiento productivo, algunas variables ruminales y la calidad de la canal en ovinos alimentados con cuatro niveles de inclusión de glicerol (0%, 5%, 10% y 15%) en la dieta.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la ganancia diaria de peso (GDP), consumo de materia seca (CMS) y conversión alimenticia (CA) en ovinos alimentados con cuatro niveles (0, 5, 10 y 15%) de inclusión de glicerol como fuente de energía.
- Evaluar pH, ácidos grasos volátiles (AGV) y nitrógeno amoniacal (N-NH₃) en líquido ruminal.
- Evaluar la calidad de la carne de ovinos alimentados con la inclusión de glicerol en la dieta, como rendimiento de la canal, área del ojo del lomo (AOL), espesor de grasa dorsal (EGD), pH de la canal, color del músculo, capacidad de retención de agua (CRA) y vida de anaquel.

5. HIPÓTESIS

La administración de glicerol en la dieta mejora el comportamiento productivo y la calidad de la carne en ovinos.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del experimento

La investigación se realizó en el módulo de ovinos del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, ubicado en el km 36.5 de la carretera Federal México-Texcoco, Montecillo, estado de México; que se localiza geográficamente a 19° 28 4.26 LN, y 98° 53 42.18 LO, a una altitud de 2250msnm, una precipitación anual de 636.5 mm y una temperatura media anual de 15.2°C (García, 2004).

6.2 Unidades experimentales

Se utilizaron 40 ovinos machos enteros cruce Suffolk x Hampshire con edad promedio de 60 días y peso promedio de 25 ± 5 kg. Los animales se alojaron en jaulas individuales, con acceso a la dieta y agua *ad libitum*. Se desparasitaron con 1 ml 50 kg⁻¹ peso vivo de Ivermectina (Ivomec F®) y se aplicaron 2 ml de vitaminas (Vigantol ADE Fuerte®) por inyección intramuscular, previo al inicio del experimento. Los animales fueron sometidos a un periodo de adaptación a la dieta de 20 días y posteriormente un periodo de engorda de 60 días.

6.3 Dieta y tratamientos

Se utilizaron cuatro dietas integrales (Cuadro 4) con diferentes niveles de inclusión de glicerol, obteniéndose los siguientes tratamientos, T1: 0% de inclusión de glicerol, T2: 5%, T3: 10%, T4: 15% de inclusión de glicerol, respectivamente, con 10 repeticiones por tratamiento, en un diseño completamente al azar. La composición de las dietas fue isoproteínica e isoenergética y se formularon de acuerdo a los requerimientos propuestos por el NRC (2007) para ovinos en crecimiento.

Cuadro 4. Composición química de las dietas, sin glicerol y con el 5, 10 y 15% de inclusión

Ingredientes	Tratamientos (%BS)			
	T1	T2	T3	T4
Maíz amarillo molido	30	28	24	20
Sorgo	30	28	25	23
Alfalfa acicalada	12	14	13	14
Soya	10	11	13	14
Rastrojo de maíz	9	7	8	7
Melaza	4	4	4	4
Minerales	2	2	2	2
Urea	1	1	1	1
Glicerol	0	5	10	15
Composición química (%MS)				
Materia seca (MS)	92.18	92.24	92.81	92.23
Proteína cruda (PC)	17.93	17.71	17.07	17.12
Extracto etéreo (EE)	3.16	3.53	3.32	3.70
Cenizas	6.05	6.63	6.27	6.55
Fibra detergente neutro (FDN)	43.66	43.73	43.61	43.40
Fibra detergente ácida (FDA)	18.28	18.82	18.45	18.87

T1= testigo, T2= dieta con el 5% de glicerol, T3= dieta con el 10% de glicerol, T4= dieta con 15% de glicerol.

6.4 Comportamiento productivo de los ovinos

6.4.1 Ganancia diaria de peso

Para determinar la ganancia diaria de peso (GDP), los ovinos fueron pesados al inicio del experimento, y posteriormente cada 15 días antes de ofrecer el alimento, hasta finalizar los 60 días de engorda. La ganancia diaria de peso (GDP) se obtuvo por la diferencia entre el peso final menos el peso inicial dividido entre los días del periodo de engorda.

6.4.2. Consumo de materia seca

El consumo de materia seca (CMS) fue obtenido de la cantidad de alimento consumido por cada animal, calculado en base al alimento ofrecido y rechazado diariamente.

6.4.3 Conversión alimenticia

Se determinó en base a la relación entre la GDP y CMS de forma individual en cada periodo de pesaje.

6.5 Variables ruminales

6.5.1 pH, nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y ácidos grasos volátiles (AGV)

Transcurrido los 60 días del experimento se sacrificaron 6 ovinos por cada tratamiento y se colectaron muestras de líquido ruminal, para determinar pH, concentración de N-NH₃ (McCullough, 1967) y AGVs (Erwin *et al.*, 1961).

Para la medición del pH de líquido ruminal, se utilizó un potenciómetro marca Hanna modelo HL 99163 con electrodo de vidrio, previamente calibrado a pH 4.0 y 7.0. Se colectaron 4 ml de líquido ruminal a cada uno de los animales sacrificados y se tomaron lecturas de pH. Enseguida se adicionó 1 ml de ácido metafosfórico al 25% para acidificarlo. La concentración de líquido ruminal y ácido metafosofórico fue 4:1 respectivamente.

La concentración de N-NH₃ se midió mediante absorbancia en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible modelo CARY-1E, marca VARIN a 630 nm (McCullough, 1967). Las muestras de líquido ruminal se centrifugaron a 11,000 rpm y al sobrenadante (20 µl) se le adicionó 1 ml de fenol y 1 ml de hipoclorito de sodio, posteriormente, las muestras fueron incubadas durante 30 min a 37°C. Transcurrido el periodo de incubación, se leyeron en el espectrofotómetro.

Para la determinación de la concentración de AGVs (acético, propiónico y butírico), las muestras se centrifugaron a 14,000 rpm durante 15 min. El análisis de la muestra se realizó en un cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer, Modelo Claurus 500. Se inyectó 1 µl de muestra a una temperatura del inyector de 200°C, detector de 250°C y horno de 140°C. El tiempo de corrida por muestra fue de aproximadamente 7 min (Bayer, 1961; Erwin *et al.*, 1961; Neir y Bonelli, 1969).

6.6 Características físico-químicas de la carne

6.6.1 Espesor de grasa dorsal y área del ojo del lomo (*Longissimus dorsi*)

La medición de características de la canal se realizó por ultrasonografía en tiempo real, mediante un transductor de señal (17 cm modelo 5040 conectado a un equipo Aloka SSD-500 V) y el procesamiento de imágenes se obtuvo con el software CUP (Centralized Ultrasound Processing).

Al inicio (día 0) y al final de la engorda (60 días) se evaluó el AOL del músculo *Longissimus dorsi* y el EGD, estimados mediante el software antes mencionado, con imágenes capturadas por ultrasonografía utilizando el plano transeccional entre la 12^a y 13^a costilla.

6.6.2 Rendimiento de la canal

Los animales tuvieron un ayuno de 12 h, para después ser sacrificados mediante el corte en la yugular. Se evaluaron las características de la canal en cada uno de los animales sacrificados. Obteniendo el peso vivo al sacrificio (PVS), el peso vivo vacío (PVV) estimado de la resta del contenido digestivo de las vísceras al PVS. También se obtuvo el peso de la canal caliente en el sacrificio (PCC).

Se pesaron: sangre, cabeza, extremidades (separadas en la unión metatarsal y metacarpal), piel, vísceras verdes llenas (rumen, retículo, omaso, abomaso, intestino delgado y grueso), vísceras verdes vacías, vísceras rojas (corazón, pulmones, hígado y riñones) y la canal caliente.

El rendimiento de la canal caliente (RCC) se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{RCC} = ((\text{PCC}/\text{PVS}) * 100)$$

La medición del pH de la canal caliente (pHCC) y temperatura se realizó a los 0 min posteriores al sacrificio, se efectuó a la altura del espacio intercostal de la 12^a – 13^a costilla, específicamente en el músculo *Longissimus dorsi*, utilizando un potenciómetro de punta para carne Hanna modelo HL 99163.

6.6.3 Vida de anaquel

De cada uno de los animales sacrificados, se tomaron muestras del músculo *Longissimus dorsi*, cortado en cuatro porciones iguales, las cuáles se identificaron, empaquetaron en forma individual y se refrigeraron a 4°C para su posterior evaluación a las 24 h *post mortem*, 7, 14 y 21 días, que corresponden a los días de vida de anaquel basándose en los tiempos de comercialización de los productos perecederos. Las variables evaluadas en la carne durante este periodo correspondieron a pH, temperatura, color, capacidad de retención de agua y el análisis correspondiente a proteína, extracto etéreo, materia seca y cenizas.

6.6.4 pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi*

La medición del pH y temperatura se realizó en las diferentes porciones del músculo (*Longissimus dorsi*) a las 24 h *post mortem*, repitiéndose a los 7, 14 y 21 días, teniendo las muestras de carne en refrigeración a temperatura de 4°C. Para las mediciones se utilizó un potenciómetro de punta para carne Hanna modelo HL 99163.

6.6.5 Determinación del color de la carne

La medición del color se realizó a las 24 h *post mortem*, después a los 7, 14 y 21 días, en las muestras de carne refrigeradas a 4°C, se determinó con un colorímetro marca (Konica Minolta CM-700 d), aplicando el método desarrollado por Hunter (1948), donde se obtienen los valores de “L” (luminosidad), “a” (rojo a verde), “b” (amarillo a azul). Se inició con la calibración del colorímetro, basado en el manual del equipo y se consideró las zonas con menos tejido graso (para evitar valores erróneos) se tomaron tres lecturas de cada muestra para después promediar los valores y reducir el margen de error.

6.6.6 Capacidad de retención de agua

Se realizó por el método de centrifugación (Guerrero, 2002), el cual consiste en pesar 10 g de carne finamente picada y limpia (sin grasa). Por duplicado se colocaron las muestras en tubos para centrifuga y se homogenizaron con 16 ml de solución de cloruro de sodio a 0.6 Mol, se agitaron con una varilla de vidrio y se colocaron los tubos en refrigeración durante 30 min, posteriormente, se centrifugaron las muestras durante 30 min a 5000 rpm en una

centrifuga (modelo 420101, Clay Adamas, Sparks, USA). Al término se recogió el sobran­te por decantación, se midió el volumen final y se restó el volumen inicial. Este valor se reportó como ml de la solución retenida en 100 g de carne.

6.6.7 Composición química de la carne

A cada una de las muestras de carne evaluadas durante el periodo de vida de anaquel, se les determinó el porcentaje de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas y materia seca (MS) de acuerdo a los métodos propuestos por AOAC (2000).

6.7 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar para los cuatro tratamientos (0, 5, 10 y 15% de inclusión de glicerol), los datos se sometieron a un análisis de varian­za y comparación de medias con la prueba de Tukey empleando el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta en tratamiento i -ésimo, repetición j -ésimo

μ = Media general

τ_i = Efecto fijo del i -ésimo tratamiento ($i= 1, 2, 3, 4$)

ε_{ij} = Error aleatorio

Para el análisis del modelo se usó el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS 9.0 (2002).

Este modelo y procedimiento se utilizó para las variables productivas (GDP, CMS y CA), ruminales (pH, N-NH₃ y AGVs) y rendimiento de canal (PSV, PVV, PCC, RCC y pHCC).

La información de las variables de calidad de carne (EGD, AOL, pH, color y CRA) y bromatológicas (PC, EE, cenizas, HBS y MS) fueron analizadas como un diseño completamente al azar con medidas repetidas en el tiempo, usando PROC MIXED de SAS (2002). Se determinó la estructura de covarianza apropiada para cada una de las variables. El modelo para todos los análisis incluyó los efectos principales de tratamientos, tiempo (vida

de anaquel a 24 h, 7, 14 y 21 días) y la interacción tratamiento x tiempo. Las medias fueron comparadas usando la Prueba de Tukey ajustada empleando el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \delta_{j(i)} + P_l + (\tau P)_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable respuesta del periodo K , repetición j y tratamiento i .

μ = Media general

τ_i = Efecto fijo del i -ésimo tratamiento ($i= 1, 2, 3, 4$)

$\delta_{j(i)}$ = Efecto aleatorio de la repetición anidada de tratamiento ($j= 1, 2, \dots, 24$)

P_l = Efecto fijo del l -ésimo periodo ($l=1, 2, 3, 4$)

$(\tau P)_l$ = Interacción tratamiento por periodo

ε_{ijkl} = Error aleatorio

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Variables productivas

No se encontraron diferencias ($P>0.05$) en el peso inicial y final de los ovinos en el presente estudio (Cuadro 5). Por lo tanto, no existe efecto entre el tratamiento testigo T1 (0% de inclusión de glicerol) y los tratamientos T2: 5%, T3: 10% y T4: 15% de inclusión de glicerol en la dieta.

Cuadro 5. Peso inicial y final de ovinos alimentados con la inclusión de glicerol (0, 5 10 y 15%) en la dieta

Variables	TRATAMIENTOS				EEM	P>F
	T1	T2	T3	T4		
Peso inicial (kg ⁻¹)	24.06	23.78	24.59	23.93	0.4063	0.9102
Peso final (kg ⁻¹)	46.55	47.06	46.61	45.18	0.5207	0.6478

T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
EEM= error estándar de la media.

Respecto a la GDP, CMS y CA, no se encontraron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos (Cuadro 6). Las GDP obtenidas en el presente trabajo corresponden a 0.374, 0.388, 0.366 y 0.354 gr día⁻¹ para el T1, T2, T3 y T4, respectivamente. El CMS para el T1 corresponde a 1.596 kg día⁻¹, 1.573 kg día⁻¹ para el T2, 1.518 kg día⁻¹ de consumo en el T3 y 1.522 kg día⁻¹ correspondiente al T4. La CA obtenida para el T1 fue de 4.2, 4.0 correspondiente al T2, 4.1 y 4.3 para el T3 y T4, respectivamente. En un estudio realizado por Schröder y Südekum (1999) remplazaron fécula (almidón) por el 10% de glicerol en dietas para ganado lechero, y los resultados obtenidos fueron similares, sin afectar negativamente los parámetros productivos. Al igual que Gunn *et al.*, (2010) donde utilizaron (0, 15, 30 y 45%) de inclusión de glicerol en la dietas para ovinos, no encontraron diferencias significativas en parámetros productivos.

Cuadro 6. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta de la ganancia diaria de peso, el consumo de MS y la conversión alimenticia

Variables	TRATAMIENTOS				EEM	P>F
	T1	T2	T3	T4		
GDP (kg d ⁻¹)	0.374	0.388	0.366	0.354	0.008	0.2304
CMS (kg d ⁻¹)	1.596	1.573	1.518	1.522	0.066	0.7933
CA	4.20	4.08	4.13	4.32	0.154	0.6094

T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.

GDP= ganancia diaria de peso; CMS= consumo de materia seca; CA= conversión alimenticia.
EEM= error estándar de la media.

En general los rumiantes son relativamente intolerantes a altas concentraciones de grasa en la alimentación y por consecuencia el consumo de alimento generalmente disminuye a medida que el contenido de grasa en las dietas excede el 6% de la MS (Palmquist y Jenkins, 1980). En este sentido, se observó que el EE fue inferior al 6% en las cuatro dietas utilizadas en este trabajo de investigación. Los lípidos representan un estimulador potencial de la colecistoquinina (Liddle *et al.*, 1985). Por lo tanto, un alto contenido de lípidos en la alimentación incrementaría los niveles plasmáticos de colecistoquinina, mientras que la disminución de la velocidad de paso de la digesta aumenta la distensión del retículo-rumen que conduce a una estimulación de los receptores de colecistoquinina en estos compartimentos gastrointestinales (Allen, 2000), reduciendo consecuentemente el apetito. Por lo tanto, en la presente investigación la glicerina en las dietas no influyó sobre la ingesta de materia seca de los animales.

Sin embargo, Lage *et al.*, (2010) encontraron diferencias con niveles de inclusión de glicerol (0, 3, 6, 9 y 12%) en sustitución de maíz en dietas para ovinos en corrales de engorda y determinaron que la diferencia en el CMS fue consecuencia del contenido de metanol en el glicerol (6%), lo que indica que el glicerol bruto con altos niveles de metanol puede provocar rechazo del alimento y en consecuencia la reducción del CMS en ovinos. Leão *et al.*, (2012) indican que el metanol es un alcohol y ha sido asociado a intoxicaciones, principalmente por problemas metabólicos (acidosis). La FDA (2006) recomienda que los niveles de metanol en la glicerina deben ser inferiores a 150 ppm. Específicamente en este estudio no fueron afectados los parámetros productivos, debido al tipo de glicerol usado que fue de grado alimenticio (99% de glicerol libre de metanol). Por lo tanto, las cantidades de nutrientes en la dieta, en particular la energía, fueron suficientes para cumplir con los requerimientos necesarios.

7.2 Variables ruminales

La suplementación con glicerina y el efecto sobre algunos parámetros de fermentación ruminal, se observan en el Cuadro 7. No hubo diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos, respecto al pH. Obteniendo como resultados en la presente investigación

valores de 6.03, 6.28, 6.38 y 6.39 de pH para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente. Benítez (2011), reporta resultados similares al evaluar diferentes inclusiones de glicerol crudo, 0, 2.5, 7.5 y 12.5%, encontrado valores de pH de 6.84, 6.83, 6.75, y 6.78 respectivamente, mostrando condiciones óptimas de fermentación. En pruebas *in vitro* realizadas por Marín y Correa (2011), no encontraron una disminución en los valores de pH ruminal a las 24 y 48 h de fermentación, cuando adicionaron hasta 20% de glicerol en dietas de forraje kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y brachiaria (*Brachiaria decumbes*). La dieta suministrada representa un factor determinante sobre la respuesta del pH ruminal, aunque los rumiantes poseen, un sistema desarrollado para mantener el pH dentro de los límites fisiológicos 5.5 a 7.0 (Krause y Oetzel, 2006). Con una alimentación basada principalmente en forrajes el pH tiende a valores de 6.8 – 7.0, sin embargo el consumo excesivo de carbohidratos rápidamente fermentables (granos) resulta en un aumento de la concentración de AGV, ácido láctico y en una repentina baja de pH, efecto ocurrido en la presente investigación donde los resultados obtenidos en el pH ruminal fueron inferiores a 6.5 para los cuatro tratamientos.

Por el contrario, Kijora *et al.*, (1998) mostraron un descenso en los valores de pH ruminal al adicionar 200 gr de glicerol en novillos canulados, obtenido como resultado valores de 6.32 (sin suplementación de glicerol) y 5.42 (200 gr de glicerol animal día⁻¹), indicando una posible acidosis ruminal. Igualmente Lee *et al.*, (2011) en pruebas *in vitro* reportaron un descenso en el pH ruminal de 6.60 a 6.42 en las dietas con heno de alfalfa y de 6.31 a 6.17 en dietas con maíz, ambos tratamientos suplementados con 20% de glicerol en la dieta.

La diferencia entre los resultados obtenidos en el presente estudio y los resultados de otros autores, se puede atribuir al tipo de dieta, ya que con contenido alto en almidón y bajo contenido de fibra causa un descenso en el pH, cuando estos son degradados y fermentados en el rumen, lo contrario sucede en dietas con mayor cantidad de fibra, donde la adición de glicerol como una fuente energética rápidamente fermentable, provoca efectos positivos en el crecimiento, la actividad de los microorganismos del rumen y en el ambiente ruminal.

Cuadro 7. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la dieta de ovinos, en los valores de pH ruminal, N-NH₃ y AGV

Variables	TRATAMIENTOS				EEM	P>F
	T1	T2	T3	T4		
pH	6.03 ^a	6.28 ^a	6.38 ^a	6.39 ^a	0.204	0.6554
N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)*	14.85 ^c	15.33 ^{cb}	16.70 ^{ab}	17.33 ^b	0.356	0.0003
Acético(% mMol dL ⁻¹)**	74.29 ^a	72.35 ^{ab}	69.46 ^b	67.59 ^b	1.473	0.0040
Propiónico(% mMol dL ⁻¹)**	16.23 ^b	17.60 ^b	20.11 ^{ab}	22.08 ^a	1.430	0.0060
Butírico(% mMol dL ⁻¹)**	9.47 ^b	10.04 ^{ab}	10.41 ^a	10.32 ^{ab}	0.130	0.0289

T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.

N-NH₃= nitrógeno amoniacal; *= miligramos por decilitro; **= milimol por decilitro.

EEM= error estándar de la media.

^{abc}= Medias con distinta letra son diferentes (P≤0.05) entre tratamientos.

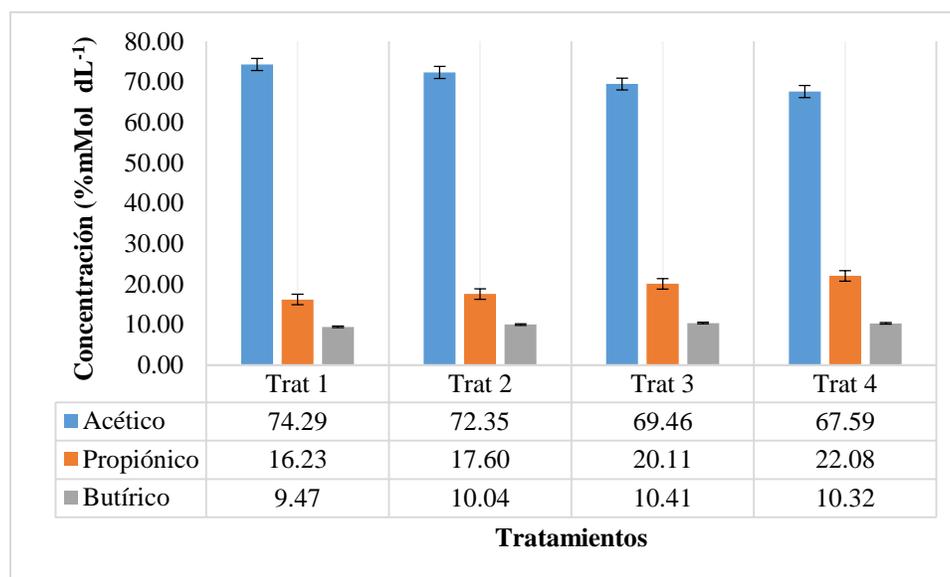
Se observaron diferencias (P<0.05) en la producción de N-NH₃ entre el tratamiento testigo T1; 14.85 mg dL⁻¹ y los valores 16.70 y 17.33 mg dL⁻¹ correspondientes a los tratamientos T3 y T4, respectivamente (Cuadro 6).

Estudios realizados por Donkin (2008), donde utilizó glicerol (99,5% de pureza) reemplazando el grano de maíz por 5, 10 y 15% de glicerol en dietas para vacas lactantes, encontró concentraciones de N-NH₃ en rumen de 9.7 ± 2.7 mg dL⁻¹. En contraste, los resultados en cultivos *in vitro* realizados por Paggi *et al.*, (1999) muestran una disminución en la actividad proteolítica del rumen de un 20%, cuando se incrementan las cantidades de glicerol de 50 a 300 mM, lo que causó una disminución en la concentración de N-NH₃ en el medio.

De acuerdo con Marwa *et al.*, (2013) la concentración de N-NH₃ óptima para el adecuado crecimiento microbiano ruminal y síntesis de proteínas es de 15 a 20 mg dL⁻¹, estos valores son similares a los encontrados en este estudio.

En el presente experimento se afectó la concentración de N-NH₃, atribuible a la proteína total en las dietas y por el aprovechamiento de amonio, como lo menciona Russell (1983) quien reportó que un factor adicional que puede afectar el requerimiento de amoníaco es la competencia entre organismos fibrolíticos y no fibrolíticos para diversas formas de compuestos que contienen nitrógeno cuando se cultivan bajo condiciones de proteína disponible limitada.

La concentración de ácidos grasos volátiles se muestra en la Figura 2. En relación a la concentración del total de AGVs, se encontraron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). En el presente estudio se observó una disminución gradual en la producción de acetato en los tratamientos con la adición de glicerol, obteniendo como resultado 72.35, 69.46 y 67.59 (mMol dL^{-1}) para los tratamientos (T2: 5%, T3; 10% y T4; 15% de inclusión de glicerol) en comparación a la concentración de 74.29 (mMol dL^{-1}) correspondiente al tratamiento testigo (T1; sin inclusión de glicerol). Bergner *et al.*, (1995) y Trabue *et al.*, (2007) encontraron que el glicerol disminuye parcialmente la producción de acetato, debido a que este AGV al ser metabolizado en tejido post-hepático tiene una nula biotransformación donde se utiliza como fuente de energía en varios tejidos y proporciona en el ciclo de Krebs 10 moléculas de ATP que pueden ser metabolizados en músculo esquelético y cardiaco.



Trat1= testigo; Trat2= dieta con el 5% de glicerol; Trat3= dieta con el 10% de glicerol; Trat4= dieta con 15% de glicerol.

Figura 2. Concentración de ácidos grasos volátiles en ovinos alimentados con diferentes inclusiones de glicerol (0, 5, 10 y 15%)

Las concentraciones de propionato y butírate fueron mayores cuando se suplementaron las dietas con glicerol. Los valores obtenidos de propionato fueron de 17.6, 20.11 y 22.08 (mMol dL^{-1}) correspondiente a los tratamientos (T2: 5%, T3; 10% y T4; 15% de inclusión de glicerol), en comparación con el tratamiento testigo (T1; 1), donde, se obtuvo un valor de concentración de 16.2 (mMol dL^{-1}). Los resultados obtenidos en las

concentraciones de butirato para a los tratamientos con inclusión de glicerol (T2: 5%, T3; 10% y T4; 15%) fueron de 10.04, 10.41 y 10.32 respectivamente, y la concentración obtenida para el tratamiento testigo fue de 9.47 (mMol dL⁻¹).

En vacas lecheras donde se utilizó el 3.6% de glicerol en la dieta, no tuvieron efecto en la ingesta, producción de leche y composición, pero alteraron el perfil de ácidos grasos en la leche, aumentando el propionato y butirato ruminal a expensas de una reducción en la concentración de acetato (Khalil et al., 1997).

Con dietas altas en granos y menos proporción de fibra, se podría presentar una mayor concentración de compuestos como el lactato, ocasionando efectos negativos en la degradación de la fibra y algunos desordenes metabólicos en el rumen, por ello, los productos de la fermentación del glicerol, dependen de los ingredientes de la dieta en la que es incluida.

En relación a los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede atribuir el incremento de las concentraciones de AGVs (propiónico y butírico) a la fermentación ruminal del glicerol, ya que este podría contribuir como compuesto gluconeogénico, por ser precursor del propionato en rumen o a través de su absorción como glicerol intacto desde el epitelio ruminal, como lo mencionan Trabue *et al.*, (2007) donde indican que más del 80% del glicerol es metabolizado por los microorganismos del rumen durante 24 h de incubación *in vitro*. En investigaciones realizadas por Kristensen y Ruan (2007), reportan que solo el 10% de glicerol intacto fue recuperado como glicerol en la vía porta, aun cuando se administraron 925 gr d⁻¹ a vacas vía cánula ruminal, sin embargo, la mayor parte de este fue tomado directamente por el hígado, convirtiéndose en glucosa. De acuerdo a lo anterior, los resultados indicaron que la absorción del glicerol es de alguna manera limitada, aun con altas cantidades suministradas en la dieta, ya que este es fermentado en rumen, produciendo principalmente acético.

Aunque algunos autores difieren sobre la proporción de glicerol que es fermentado en rumen y aquel que es absorbido directamente, se sugiere que la retención de glicerol dentro del rumen, dependerá de la velocidad de absorción, así como de la tasa de pasaje, la cual no resulta ser tan alta, como para evitar su fermentación por los microorganismos ruminales, ocasionado en parte los efectos del glicerol sobre la acumulación de los AGV's en el rumen (Kijora *et al.*, 1998; Donkin y Doane, 2007; Krueger *et al.*, 2010).

7.3 Evaluaciones físico-químicas de la carne y vida de anaquel

7.3.1 Espesor de grasa dorsal y área del ojo del lomo (*Longissimus dorsi*)

No se encontraron diferencias ($P>0.05$) en el espesor de la grasa dorsal y área del *Longissimus dorsi* entre tratamientos, pero sí entre los diferentes tiempos que se midió (día 0; inicio del experimento y transcurridos los 60 días de engorda), ya que la grasa dorsal aumentó en relación al crecimiento de los animales. Tampoco se observaron diferencias ($P>0.05$) en la interacción tratamiento x tiempo (Cuadro 8.)

Cuadro 8. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la dieta de ovinos, en el espesor de grasa dorsal y área del ojo del lomo (*Longissimus dorsi*)

Variable	TRAT	PERIODO		P>F		
		0 d	60 d	TRAT	PER	T*P
EDG (mm)	T1	2.0 ^b	3.8 ^a	0.248	0.001	0.096
	T2	2.0 ^b	4.5 ^a			
	T3	2.1 ^b	4.2 ^a			
	T4	2.3 ^b	4.1 ^a			
AOL (mm) ²	T1	816 ^b	1,217 ^a	0.629	0.001	0.516
	T2	831 ^b	1,208 ^a			
	T3	831 ^b	1,159 ^a			
	T4	810 ^b	1,128 ^a			

T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.

0d= primera medición inicio del experimento; 60d= segunda medición transcurridos los 60 días de engorda.

EGD= espesor de grasa dorsal; AOL= área del ojo del lomo (*Longissimus dorsi*).

TRAT= tratamiento; PER= periodo; T*P= efecto tratamiento periodo.

^{ab}= Medias con literales distintas dentro de una misma fila son diferentes ($P<0.05$) entre periodo en el mismo tratamiento.

Sainz (1996) señala que la medición del área del ojo de lomo (AOL) representa una manera confiable para predecir el crecimiento muscular, debido a que existe una alta correlación con el peso de sacrificio de los animales. En estudios realizados por Costa *et al.* (2005), reportaron una influencia de forma lineal decreciente, respecto al espesor de grasa. Este hecho puede ser atribuido al menor consumo de materia seca en animales sometidos a dietas con niveles crecientes (0, 2.65, 5.3, 8.06 y 10%) de glicerina bruta (43,9%) en la dieta, por lo tanto, existe una menor cantidad de energía disponible para la deposición de grasa en la canal. En este sentido no se presentaron diferencias entre los tratamientos evaluados, ya que el consumo de materia seca no se vio afectado en los animales.

7.3.2 Rendimiento de la canal de ovinos

Las variables evaluadas de la canal en los ovinos fueron iguales para los cuatro tratamientos (0, 5, 10 y 15% glicerol) ($P>0.05$), por lo que no hubo efecto del glicerol sobre el PVS, PVV, PCC, RCC y el pH de la canal caliente (Cuadro 9).

No hubo efecto de las concentraciones de glicerol (5, 10 y 15%) en el rendimiento de canales. El cual se ve directamente influenciado por el peso de la canal, por lo tanto, los animales alimentados con inclusiones de glicerol no mostraron diferencias ($P>0.05$) en el PCC y, en consecuencia, el rendimiento de la canal no se vio afectado. Por otro lado, las dietas con bajos niveles de grasa pueden aumentar el porcentaje de aderezo, la calidad y el grado de rendimiento de la canal, mientras que las dietas con alto contenido de grasa tienden a disminuir estas características de la canal (Owens y Gardner, 2000), lo cual no se observó en el presente estudio. Se obtuvieron valores en RCC de 49.60, 50.35, 50.26 y 50.60% para los tratamientos sin glicerol y con el 5, 10 y 15% respectivamente. Valores similares a los reportados por Domínguez *et al.*, (2009) quienes obtuvieron resultados en RCC de 50.75, 47.83, 50.13, 49.15, 49.46 y 48.16% en corderos en finalización.

Cuadro 9. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la dieta de ovinos en el rendimiento de la canal

Variable	TRATAMIENTOS				EEM	P>F
	T1	T2	T3	T4		
PVS (kg)	51.18	50.80	51.55	51.43	0.639	0.847
PVV (kg)	42.15	42.19	42.73	42.72	0.564	0.808
PCC (kg)	25.40	25.56	25.91	26.01	0.402	0.673
RCC (%)	49.60	50.35	50.26	50.60	0.590	0.670
pHCC	7.1	7.2	7.2	7.0	0.139	0.845

T1= testigo, T2= dieta con el 5% de glicerol, T3= dieta con el 10% de glicerol, T4= dieta con 15% de glicerol.

PVS= peso vivo al sacrificio; PVV= peso vivo vacío; PCC= peso canal caliente; RCC= rendimiento canal caliente; pHCC= pH canal caliente.

EEM= error estándar de la media.

7.3.3 Vida de anaquel de la carne

En el presente estudio, el efecto sobre de la suplementación en la alimentación con glicerina y el resultado sobre algunos parámetros en la calidad de la carne y vida de anaquel, se muestran en el Cuadro 10.

7.3.4 pH de la carne

En las primeras 24 h después del sacrificio el pH registrado fue de 6.10 para el T1, para el resto de los tratamientos (T2, T3, y T4) se obtuvieron valores de 6.10, 6.17 y 6.12 respectivamente. No se observaron diferencias ($P>0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la dieta de ovinos, en el pH, color (L^* , a^* y b^*) y capacidad de retención de agua en el músculo *Longissimus dorsi*, durante la vida de anaquel

Variable	TRAT	PERIODO				P>F		
		24 horas	día 7	día 14	día 21	TRAT	PER	T*P
pH	T1	6.10 ^a	5.96 ^b	5.85 ^c	5.70 ^d	0.751	0.001	0.421
	T2	6.10 ^a	5.95 ^b	5.82 ^c	5.71 ^d			
	T3	6.17 ^a	5.96 ^b	5.81 ^c	5.71 ^d			
	T4	6.12 ^a	5.94 ^b	5.84 ^c	5.76 ^d			
L^*	T1	36.63 ^a	36.22 ^{ab}	35.55 ^{ab}	34.82 ^b	0.932	0.001	0.972
	T2	36.48 ^a	36.33 ^a	35.70 ^{ab}	34.16 ^b			
	T3	36.82 ^a	36.65 ^a	35.28 ^{ab}	33.60 ^b			
	T4	35.95 ^a	35.16 ^a	34.74 ^{ab}	32.99 ^b			
a^*	T1	18.20 ^a	17.54 ^{ab}	17.47 ^{ab}	16.83 ^b	0.786	0.001	0.986
	T2	17.34 ^a	17.34 ^a	16.56 ^a	16.49 ^a			
	T3	17.76 ^a	17.35 ^a	17.24 ^a	16.82 ^a			
	T4	17.80 ^a	17.31 ^{ab}	17.30 ^{ab}	16.59 ^a			
b^*	T1	4.3 ^a	3.9 ^{ab}	3.9 ^{ab}	3.4 ^b	0.838	0.001	0.998
	T2	4.0 ^a	3.6 ^a	3.5 ^{ab}	2.9 ^b			
	T3	4.2 ^a	4.0 ^a	3.8 ^{ab}	3.1 ^b			
	T4	4.1 ^a	3.9 ^a	3.5 ^b	3.0 ^b			
CRA (ml 100g ⁻¹)*	T1	24.41 ^b	17.83 ^c	17.33 ^{ab}	13.66 ^b	0.001	0.001	0.001
	T2	28.16 ^a	24.66 ^a	18.71 ^a	16.31 ^a			
	T3	28.33 ^a	21.86 ^b	15.50 ^b	15.16 ^{ab}			
	T4	28.16 ^a	23.48 ^{ab}	16.65 ^{ab}	13.66 ^b			

T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.

L^* = Luminosidad; a^* = índice en rojo; b^* = índice de amarillo; CRA= capacidad de retención de agua; * = ml por 100g⁻¹ de carne.

TRAT= tratamiento; PER= periodo; T*P= efecto tratamiento periodo.

^{abcd}= medias con literales distintas dentro de una misma fila muestran diferencia ($P<0.05$) entre periodo del mismo tratamiento.

^{abc}= medias con literales distintas dentro de una misma columna muestran diferencia ($P<0.05$) entre tratamientos del mismo periodo.

El descenso del pH *post mortem* es considerado un factor importante en la calidad de la carne, una disminución excesiva del mismo y una elevada temperatura aumenta la

degradación de la proteína, lo que origina al color pálido de la carne y poca retención de agua (Joo *et al.*, 1999).

Alberle *et al.*, (2001) y Hui *et al.*, (2006) mencionan que la acumulación de ácido láctico, causa una disminución del pH en músculos, empezando gradualmente de 7.4 que tiene el músculo vivo, a 5.6 – 5.7 en 6 a 8 horas y 5.3 – 5.7 en 24 h. Es importante mencionar, que los músculos con fibras de contracción rápida (blancas) alcanzan valores finales de 5.5 mientras que en los músculos donde predominan fibras de contracción lenta (rojas) el pH no desciende de 6.3 (Garrido, 2005), además el proceso de acidificación dura normalmente 12 – 24 h en ovinos.

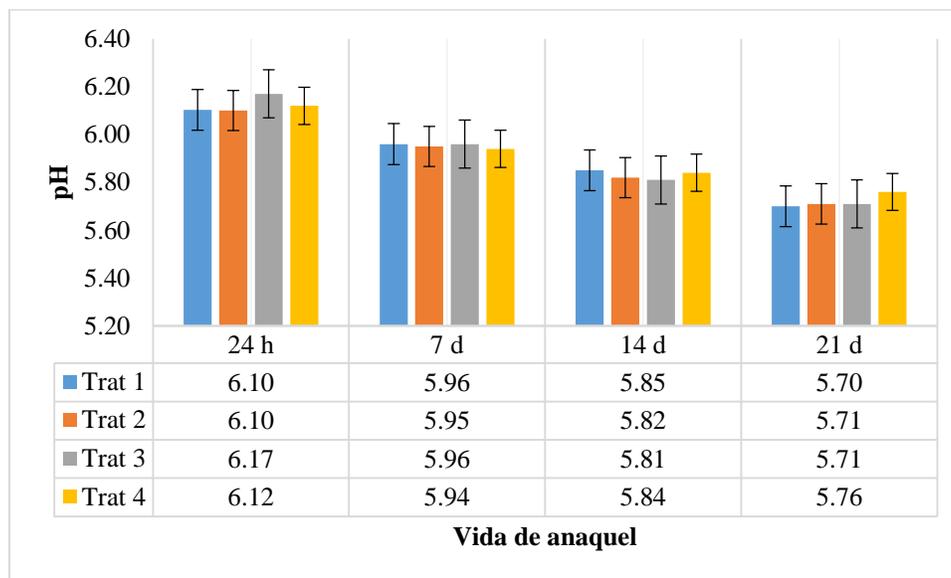
De acuerdo a lo anterior, el pH registrado en la presente investigación, presentó una reducción significativa en las primeras 24 h posteriores al sacrificio, en los 4 tratamientos. Esto pudo deberse a que, una vez que el músculo se convierte en carne (*rigor mortis*), cesa el aporte sanguíneo de oxígeno y nutrientes al músculo, de manera que el mismo utiliza metabolismo anaeróbico para transformar sus reservas en energía (glucógeno) en ATP con el fin de mantener su temperatura e integridad estructural (Goenaga, 2010). El ATP formado se obtiene a través de la degradación de glucógeno en ácido láctico. Este último no puede ser retirado por el sistema sanguíneo, por lo que provoca el descenso del pH muscular (Warris, 2003; Hamm, 1977).

Una disminución del pH está directamente relacionada con las características físicas de la carne (color, textura, capacidad del musculo para retener agua). Cuando el pH no presenta un adecuado descenso *postmortem*, la carne puede presentarse oscura, firme y tener una superficie de corte seco, características conocidas como DFD (Ramos y Gomide, 2007).

Velasco *et al.*, (2004) observaron que la grasa actúa como un aislante térmico en la canal durante el enfriamiento, lo que reduce la velocidad de refrigeración de la canal, permitiendo una disminución normal del pH. En este sentido los porcentajes de grasa dorsal reportados en los 4 tratamientos no mostraron diferencias ($P > 0.05$) teniendo un descenso de pH significativo en todos los tratamientos.

En cuanto al comportamiento de vida de anaquel el pH no mostró diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 10), pero sí entre los diferentes tiempos que se midió ($P < 0.05$).

Se registraron valores de 5.96, 5.95, 5.96 y 5.94 para el día 7 en los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Posteriormente, se obtuvieron mediciones a los 14 días, obteniendo valores de 5.85, 5.82, 5.81 y 5.84 para los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Finalmente para el día 21, se registraron valores de pH de 5.70, 5.71, 5.71 y 5.76, correspondientes a los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente (Figura 3).



Trat1= testigo; Trat2= dieta con el 5% de glicerol; Trat3= dieta con el 10% de glicerol; Trat4= dieta con 15% de glicerol.
h= horas; d= días.

Figura 3. Valores de pH en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

7.3.5 Color de la carne

La luminosidad L^* entre los tratamientos no fue significativa ($P > 0.05$) (Cuadro 10). Los niveles se mantuvieron de 36.82 L^* a 35.95 L^* en la primera medición correspondiente a las 24 h (Figura 4). Kadim *et al.*, (2013) determinan que el pH puede ser uno de los factores que modifiquen las propiedades de la carne, siendo afectada la dispersión de la luz. Obteniendo valores menores de pH, proporcionarían una mayor luminosidad de la carne. Explicando así, la ausencia de diferencias en la intensidad de luminosidad (L^*), sobre los valores de pH encontrados en el presente estudio, debido a que se consideran normales y no existen diferencias entre los tratamientos.

Según Mancin y Hunt (2005), la concentración de pigmento y el estado químico del grupo “heme” son determinantes para el color de la carne. En relación a esto, Carvalho *et al.*, (2014) determinaron que los cambios ocurridos en el AOL pueden estar influyendo sobre la coloración de la carne, debido a que un aumento en el área del ojo del lomo producirá una mayor presencia de pigmentos (mioglobina). En este sentido, no hubo diferencias ($P>0.05$) en AOL, por lo tanto, se asocia a la explicación de los resultados similares obtenidos en la coloración de la carne entre los cuatro tratamientos.

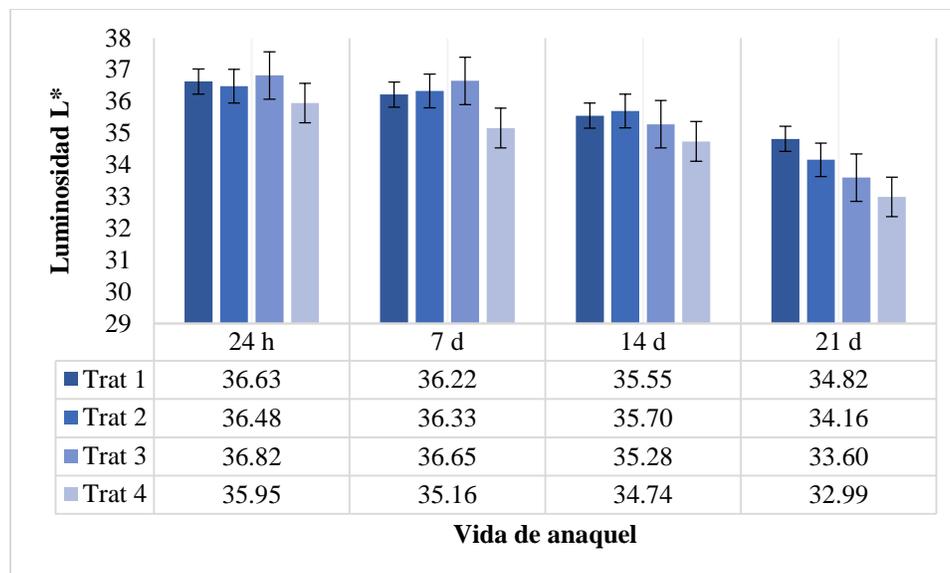
Pasachoa (2010), analizó el músculo *Longissimus dorsi* en bovinos, obteniendo valores a las 24 h posteriores al sacrificio de 37.14 L*, 27.42 en a* y 16.15 para b*, observando valores similares en comparación al presente estudio. De igual forma se mostró una oxidación y degradación normal de la mioglobina. Al perder todo el aporte de energía (ATP), es generado el proceso de glucólisis *postmortem*, lo que da origen a la producción de ácido láctico, generando la oxidación de la mioglobina. Siendo la deoximioglobina la que confiere el color rojo púrpura, característico de la canal caliente.

Para el día 7, los valores se mostraron entre 36.65 L* y 35.16 L*. A los 14 días, se obtuvieron resultados entre 35.70 L* hasta 34.74 L*. En el día 21, se registraron mediciones de 34.82 L* y 32.99 L* (Figura 4). Estos valores registrados durante el tiempo de maduración de la carne mostraron diferencias ($P<0.05$) durante el periodo de evaluación, mostrando un descenso de L* en los cuatro tratamientos. No se observaron diferencias entre tratamientos por tiempo.

Con el transcurso del tiempo la oxidación de la mioglobina será precursor de la oximioglobina, que da como resultado el color rojo cereza. El cual favorece una alta preferencia por los consumidores. La carne al estar expuesta al oxígeno continua oxidándose, presentando la mioglobina un estado de metamioglobina tomando un color pardo – marrón (Goenaga, 2010). La degradación de la proteína globular mioglobina es irreversible. Por lo que si se mantiene en una cadena de refrigeración constante y envasado al vacío, este proceso de oxidación podrá retrasarse.

Purchas *et al.* (1999) reportaron que el periodo de maduración tiene una influencia sobre el descenso de la luminosidad en la carne, debido a la velocidad de acumulación de metamioglobina y el consumo de oxígeno. Respecto a esto, en la presente investigación se

mostraron diferencias ($P < 0.05$) entre el tiempo, sobre el descenso de los niveles de L^* . Pudiendo apreciar una tonalidad más oscura para el día 21 en los 4 tratamientos. Por lo que el glicerol no tuvo efecto alguno sobre los mismos.



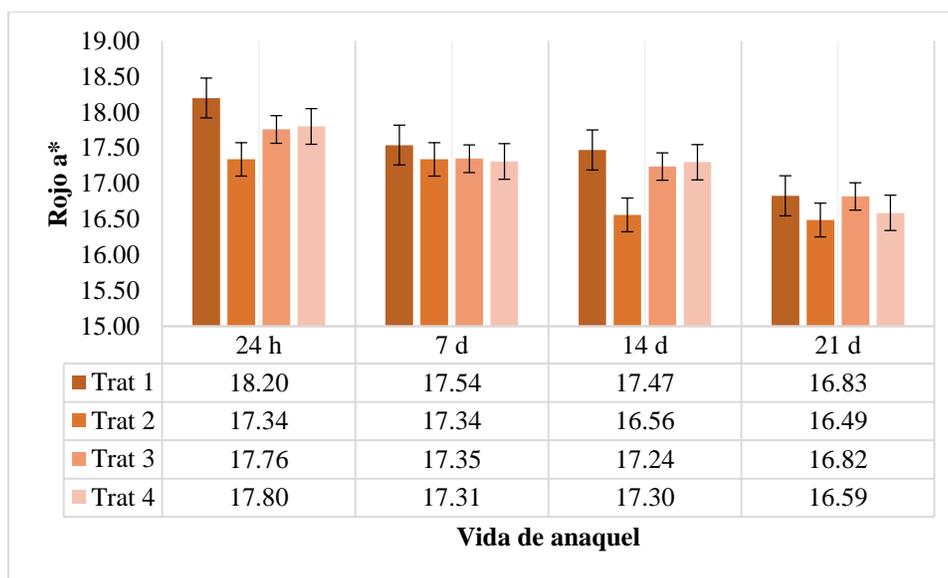
T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
h= horas; d= días.

Figura 4. Variación de la luminosidad (L^*) en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

La variación de los niveles de rojo (a^*) entre los tratamientos no fue significativa ($P > 0.05$), pero si en tiempo (Cuadro 10). Los niveles se mantuvieron entre 18.20 en a^* hasta los 17.34 en la primera medición. Para el día siete, los valores se mostraron entre 17.54 a^* y 17.31*. A los catorce días, se obtuvieron resultados entre 17.47 a^* hasta 17.24 a^* . En el día veintiuno, se registraron mediciones de 16.83 a^* y 16.49 a^* (Figura 5).

Bressan *et al.*, (2001) determinaron en corderos valores medios para L^* en un rango de 31.36 - 38.0; para a^* 12.27 - 18.01; y para b^* 3.34 - 5.65. Gema *et al.*, (2010) determinaron el color (L^* , a^* y b^*) en *Longissimus dorsi* crudo de cordero almacenado en envases de atmósfera modificada (MAP) (70% O_2 : 30% CO_2) durante un máximo de 21 días, a 4°C , bajo condiciones simuladas de venta al consumidor, obteniendo resultados en L^* de 42.2 para el día 0 hasta 53.6 en el día 21, los valores de a^* se registraron de 17.1 para el día 0 y de 10.6 en el día 21, por último, los resultados correspondientes a los niveles de b^* para

día 0 fueron de 7.24 y para el día 21 de 13.4. Estos valores son similares a los registrados en la presente investigación, debido a la oxigenación, en este sentido el nivel de oxidación se mantuvo dentro de lo normal, lo que indica que el glicerol puede formar parte de la composición de las dietas para ovinos.



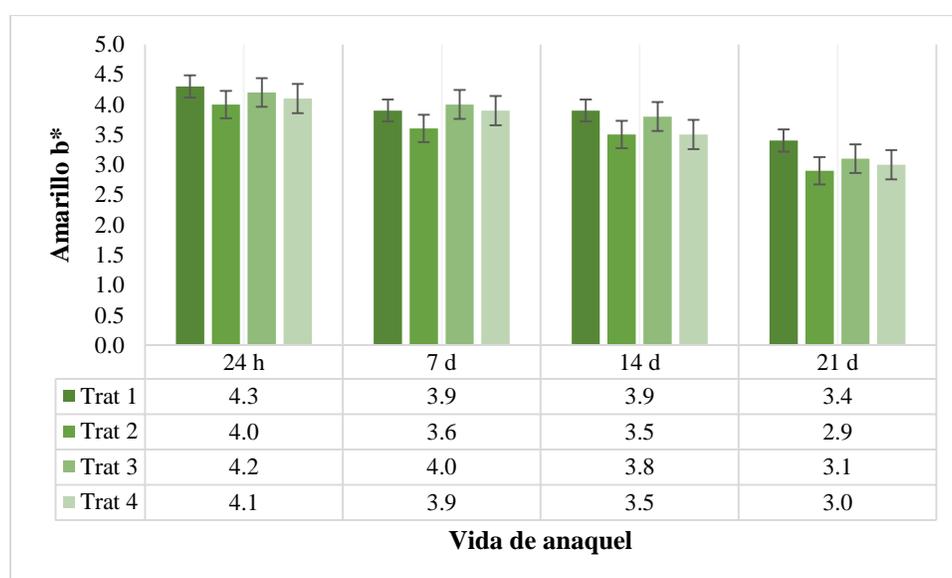
T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
h= horas; d= días.

Figura 5. Variación de rojo a verde (a^*) en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

La variación de los niveles de amarillo (b^*) entre los tratamientos no fue significativa ($P>0.05$), tampoco en tiempo (Cuadro 10). Los niveles se mantuvieron entre $4.3 b^*$ hasta los $4.0 b^*$ en la primera medición. Para el día siete, los valores se mostraron entre $4.0 b^*$ y 3.6 . A los catorce días, se obtuvieron resultados entre $3.9 b^*$ hasta $3.5 b^*$. En el día veintiuno, se registraron mediciones de $3.4 b^*$ y $2.9 b^*$ (Figura 6).

Trabajos realizados sobre la evaluación del color en la carne de bovinos alimentados con diferentes niveles de glicerina bruta, en un 30%, tampoco mostraron diferencias significativas (Lage et al., 2014; San Vito et al., 2015). Faria *et al.*, (2012) evaluaron el impacto de dos cruza (Texel x Polwarth y Texel x Corriedale) de ovinos alimentadas con pasturas de trébol (*Lotus corniculatus L.*, *Trifolium repens L.*, *Lolium multiflorum Lam.*). Sobre la calidad de la carne, colectaron muestras de *Longissimus dorsi* y congelaron por un

periodo de 30 días, las muestras se descongelaron a 4°C por 24h para el análisis de color correspondiente (L* a* y b*). Obteniendo resultados de 41.47 – 39.62 en L*, 9.86 – 10.33 en a* y para b* 6.83 – 7.08. Sañudo *et al.*, (2008) señala intervalos de color normales desde 30.03 - 49.47 L*, 8.24 - 23.53 a* y 3.30 a 11.10 en b*. La sustitución de maíz por glicerol reduce la cantidad de pigmentos carotenoides de la dieta, y puede causar una disminución de la amarillez (b*) uniforme en los músculos. A pesar de los cambios que pudieran ocurrir en la amarillez, las variables de coloración permanecieron dentro de lo normal en este trabajo de investigación. Determinando que el glicerol puede ser utilizado en la alimentación de ovinos, sustituyendo parcialmente el maíz sin inferir en la coloración de la carne.



T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
h= horas; d= días.

Figura 6. Variación de amarillo a azul (b*) en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

7.3.5 Capacidad de retención de agua

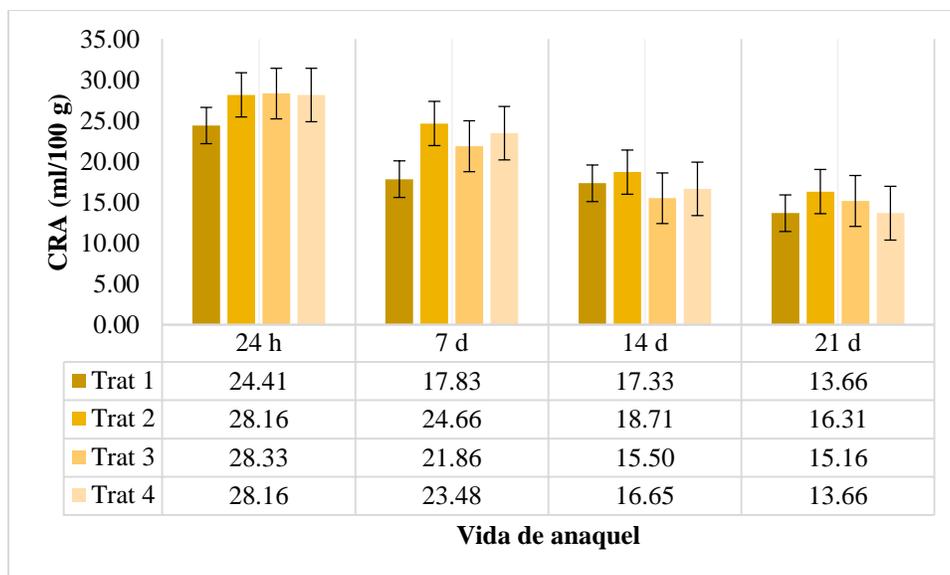
Los resultados obtenidos en la capacidad de retención de agua mostraron diferencias (P<0.05) entre los tratamientos (Cuadro 10). Obteniendo resultados a las 24 h posteriores al sacrificio de 24.41, 28.16, 28.33 y 28.16 para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente.

Un alto contenido sobre la CRA en la carne está asociado con la jugosidad y el rendimiento al ser procesada (López y Casp, 2004). Valores bajos reducen la jugosidad de la carne (Oliveira *et al.*, 2012).

Panea *et al.*, (2010) y Onega *et al.*, (2003), encontraron valores de CRA de 22 y 18% respectivamente, en animales en pastoreo. Lindon *et al.*, (2011), reportan observaciones en CRA del 16%, en estudios realizados en bovinos bajo sistema de crianza extensiva, estos porcentajes son inferiores a los obtenidos en la presente investigación. En este sentido, de acuerdo con Freund *et al.*, (1995) el glicerol aumenta la retención de líquidos a través de la reducción de agua libre en el organismo. Efecto que sucedió en la presente investigación con la inclusión de glicerol (5, 10 y 15%) en las dietas, en comparación con la dieta testigo (0%). La inclusión de glicerol en la dieta sobre la retención de agua muscular también fue informada por Parker *et al.* (2007), quienes trabajaron con ganado bovino suplementado con glicerol durante el transporte y observaron una hiperhidratación del animal que implica una mejor calidad de carne.

La actividad de la proteasa calpaína está asociada con la pérdida de agua en la carne (Huff-Lenergan y Lonergan, 2005; Tomisaka *et al.*, 2010). Zhong *et al.*, (2009) mencionan que los antioxidantes en la dieta podrían disminuir la pérdida de agua por goteo en la carne, ya que regulan la degradación de proteínas. La glicerina no mostró efecto sobre el tiempo, expresando valores descendentes en los tratamientos con la inclusión de glicerol y el tratamiento testigo.

En el día 7 el resultado obtenido en CRA para el T1 fue de 17.83, para el T2 24.66, para los T3 y T4, 21.86 y 23.84, respectivamente. Para el día 14 los valores registrados fueron de 17.33 (T1), 18.17 (T2), 15.50 (T3) y 16.65 (T4). Y por último el día 21 los valores obtenidos en el T1, T2, T3 y T4 correspondieron a 13.66, 16.31 15.16 y 13.66, respectivamente (Figura 7). Se detectaron diferencias ($P < 0,05$) entre tratamientos y tiempo.



T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol. CRA= capacidad de retención de agua; h= horas; d= días.

Figura 7. Capacidad de retención de agua en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

La pérdida de CRA se puede asociar cuando los niveles de pH *post mortem* se ven afectados, así como la pérdida de ATP y por los cambios de la estructura miofibrilar que se asocia a la actividad proteolítica (Young *et al.*, 2004). El deterioro de las proteínas y los niveles de pH, que se ven afectados con el tiempo, debido a la transformación del glucógeno en ácido láctico y la reducción de ATP, hacen posible las diferencias encontradas en la CRA a través del tiempo y, el efecto que tiene el glicerol sobre los tratamientos ya que este aumenta la retención de líquidos con la reducción de agua libre en el organismo del animal.

Como se ha descrito anteriormente, en la presente investigación la disminución de la CRA en los 4 tratamientos puede ser consecuencia de la degradación de las proteínas durante el proceso de refrigeración, lo que provoca cambios estructurales y la expulsión del agua (Shenouda, 1980).

7.3.6 Composición química de la carne

En el cuadro 11 se presentan los valores promedio de proteína cruda (PC), grasa o extracto etéreo (EE), cenizas, materia seca y humedad, analizados en la carne, en animales tratados sin glicerol (T1) y con el 5, 10 y 15% de inclusión de glicerol en la dieta.

Cuadro 11. Efecto de la inclusión de glicerol (0, 5, 10 y 15%) en la alimentación de ovinos, en respuesta a la composición química del *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

Variable	TRAT	PERIODO				P>F		
		24 horas	día 7	día 14	día 21	TRAT	PER	T*P
PC	T1	17.23 ^a	14.64 ^b	13.59 ^b	11.62 ^b	0.001	0.001	0.030
	T2	18.22 ^a	16.68 ^a	15.26 ^a	14.72 ^a			
	T3	18.00 ^a	16.78 ^a	14.91 ^a	14.06 ^a			
	T4	17.63 ^a	15.76 ^a	15.54 ^a	12.40 ^b			
EE	T1	4.20 ^a	4.38 ^a	4.26 ^a	4.30 ^a	0.734	0.916	0.992
	T2	4.16 ^a	4.41 ^a	4.59 ^a	4.25 ^a			
	T3	4.70 ^a	4.56 ^a	4.44 ^a	4.50 ^a			
	T4	4.31 ^a	4.43 ^a	4.61 ^a	4.41 ^a			
Cenizas	T1	4.02 ^a	3.89 ^a	4.03 ^a	3.80 ^a	0.404	0.509	0.806
	T2	3.73 ^a	4.17 ^a	4.00 ^a	3.95 ^a			
	T3	4.08 ^a	4.33 ^a	4.33 ^a	3.90 ^a			
	T4	3.98 ^a	4.08 ^a	3.89 ^a	4.11 ^a			
MS	T1	26.65 ^a	26.34 ^a	26.05 ^a	25.99 ^a	0.935	0.380	0.434
	T2	26.25 ^a	26.06 ^a	25.84 ^a	26.60 ^a			
	T3	25.64 ^b	26.93 ^a	25.74 ^{ba}	26.60 ^{ba}			
	T4	26.03 ^a	26.03 ^a	26.54 ^a	27.22 ^a			
Humedad	T1	73.35 ^a	73.68 ^a	73.92 ^a	74.00 ^a	0.941	0.381	0.416
	T2	73.73 ^a	73.93 ^a	74.15 ^a	73.37 ^a			
	T3	74.35 ^a	73.03 ^b	74.26 ^{ba}	73.37 ^{ba}			
	T4	73.95 ^a	73.96 ^a	73.46 ^a	72.78 ^a			

T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.

PC= proteína cruda; EE= extracto etéreo; MS= materia seca; h= horas; d= días

TRAT= tratamiento; PER= periodo; T*P= efecto tratamiento periodo.

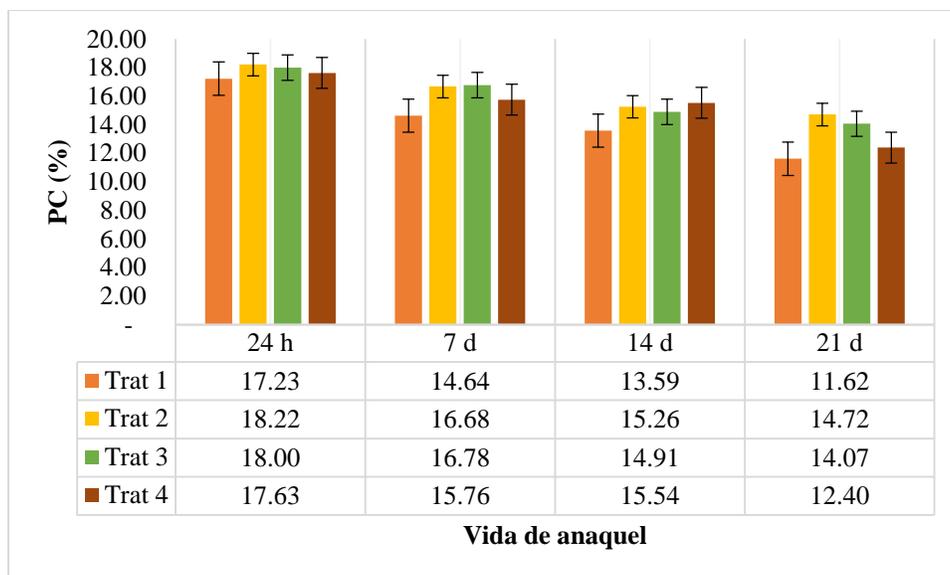
^{abcd}= medias con literales distintas dentro de una misma fila muestran diferencia (P<0.05) entre periodo del mismo tratamiento.

^{abc}= medias con literales distintas dentro de una misma columna muestran diferencia (P<0.05) entre tratamientos del mismo periodo.

De acuerdo a los valores obtenidos para proteína, se encontraron diferencias (P<0.05) entre tratamientos y periodo de evaluación (P<0.05) (Cuadro 11). Obteniendo valores a las 24 h de 17.23% para T1, para el resto de los tratamientos (T2, T3 y T4) de 18.22, 18.00 y

17.63% de proteína cruda (PC). Durante el sacrificio de los animales se disminuye el déficit de energía causando por el aumento de la concentración de insulina en el plasma, lo que permite una menor degradación proteica del músculo y se conserva el contenido de proteína en la canal después del sacrificio (Paker *et al.*, 2007). Lage *et al.*, (2014), encontraron que con mayor cantidad de inclusión de glicerina bruta en dietas para ovinos se modifica la proteína cruda en la carne de los animales, reduciéndola gradualmente, presentando valores más bajos de ésta. Lo anterior probablemente se deba a una disminución en la ingesta de materia seca, debido, al alto contenido de impurezas presentes en la glicerina bruta, lo cual tuvo efectos en el rendimiento y en consecuencia en la deposición de tejido graso. Con relación a lo anterior, en el presente estudio no se afectó el consumo de materia seca entre los tratamientos, pudiendo ser el grado de pureza que contenía el glicerol, factor que no modificó directamente la ingesta sobre los animales. Por lo cual no hubo diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos en la evaluación de PC a las 24h *post mortem*.

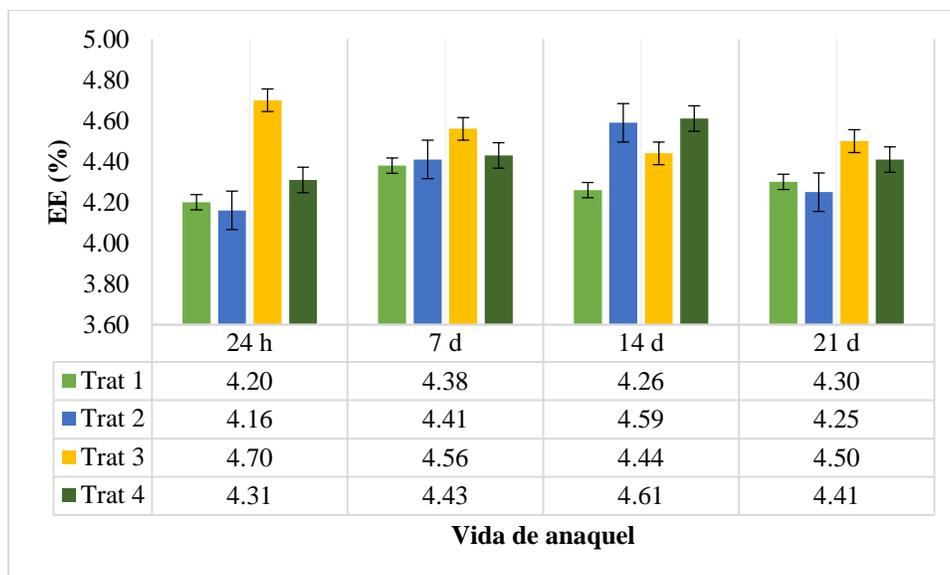
En el día 7 los resultados de PC en *Longissimus dorsi* fueron de 14.64, 16.68, 16.78 y 15.76% para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente. Para el día 14 se obtuvieron valores de 13.59 (T1), 15.26 (T2), 14.91 (T3) y 15.54% (T4) de proteína cruda. Finalmente para el día 21 los valores encontrados para el tratamiento uno fueron de 11.62% y para el resto de los tratamientos 14.72, 14.06 y 12.40% de PC (Figura 8). La temperatura desempeña un papel importante en la desnaturalización de las proteínas, causando una pérdida de la solubilidad de las proteínas, pérdida de la capacidad de unión entre proteína y agua y una pérdida en la intensidad de la pigmentación del músculo. Los músculos que tienen un rápido descenso en el pH o que el proceso se extienda en tiempo causan un músculo pálido y con poca retención de agua. Por otro lado, aquellos músculos que mantiene un pH alto tienden a ser más oscuros y secos porque las proteínas se mantienen unidas a las moléculas de agua (Aberle *et al.*, 2001; Hui *et al.*, 2006). En este sentido, se mostraron tendencias descendentes en la proteína en los 4 tratamientos, debido al descenso del pH. Y las diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos y tiempo, se pueden explicar por la CRA presente en el músculo causada por el glicerol. Lo que ocasionó una degradación más lenta de las proteínas durante el tiempo de almacenamiento de los tratamientos con la inclusión de glicerol (5, 10 y 15) en comparación con el tratamiento testigo (0%).



T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
PC= proteína cruda; h= horas; d= días.

Figura 8. Porcentaje de proteína cruda en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

El uso del 5, 10 y 15% de glicerol en la dieta no presentó diferencias ($P < 0.05$) en el contenido de grasa (EE) evaluado en *Longissimus dorsi*, sobre el tratamiento testigo (0%). Y tampoco existieron diferencias entre el tiempo y los tratamientos evaluados durante la vida de anaquel de la carne (Cuadro 10). Los resultados obtenidos de EE a las 24 h posteriores al sacrificio fueron de 4.20, 4.16, 4.70 y 4.31 correspondiente a los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Para el día siete el valor obtenido para el T1 fue de 4.38 y para el resto de los tratamientos (T2, T3 y T4) 4.41, 4.56 y 4.43%. En el día 14 los resultados de EE en los tratamientos correspondieron a 4.26 (T1), 4.59 (T2), 4.44 (T3) y 4.61 (T4). Por último en el día 21 los tratamientos T1, T2, T3 y T4 mostraron valores de 4.30, 4.25, 4.40 y 4.41 respectivamente (Figura 9).



T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol. EE= extracto etéreo; h= horas; d= días.

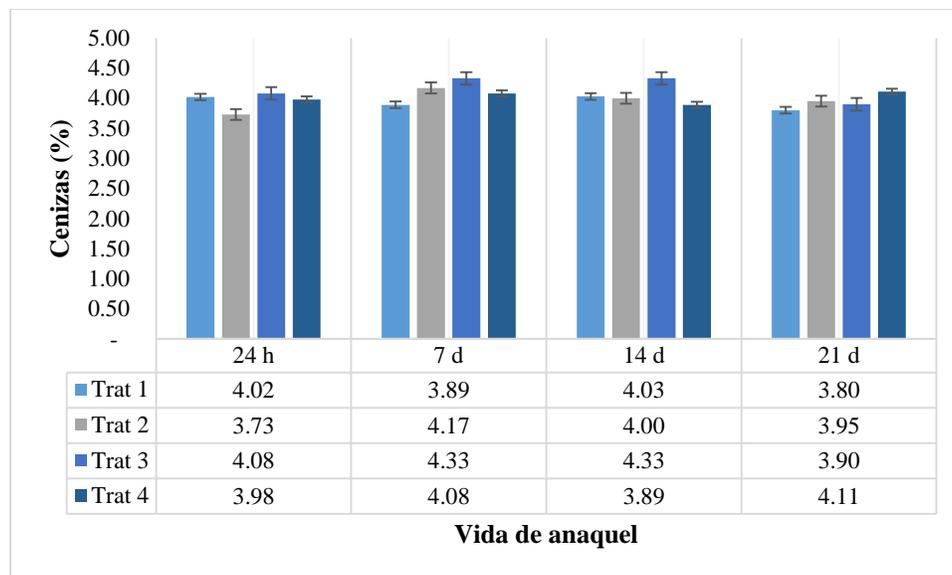
Figura 9. Porcentaje de extracto etéreo en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

Las concentraciones de glicerol no afectaron los valores de EE ($P>0.05$) en el músculo *Longissimus dorsi*. De acuerdo a la relación de la producción de propionato en el rumen, el glicerol funciona como precursor de glucosa, como consecuencia se esperaría, un incremento en el contenido de grasa intramuscular. Todo esto en relación a lo reportado por Schoonmaker *et al.*, (2004) quienes indican que la glucosa es la fuente principal de carbono para la deposición de tejido graso. De acuerdo con lo anterior, se obtuvieron respuestas ascendentes en la producción de propionato, en relación a los incrementos de glicerina en las dietas. Sin embargo, las concentraciones no fueron lo suficiente para afectar el EE en la carne, también la glicerina en la alimentación pudo dar lugar a una eliminación de la acumulación de grasa intramuscular (Drouillard, 2012) o tienden a disminuir la deposición de grasa intramuscular en el músculo *longissimus dorsi* (Elam *et al.*, 2008).

Los diferentes niveles de glicerina en la dieta no afectaron ($P<0.05$) el porcentaje de cenizas, materia seca. Tampoco durante los tiempos de vida de anaquel entre tratamientos y tiempos (Cuadro 11).

Los resultados obtenidos en el porcentaje de cenizas evaluados en *Longissimus dorsi* en la presente investigación, oscilan entre 3.73 – 4.08% a las 24 h después del sacrificio. En

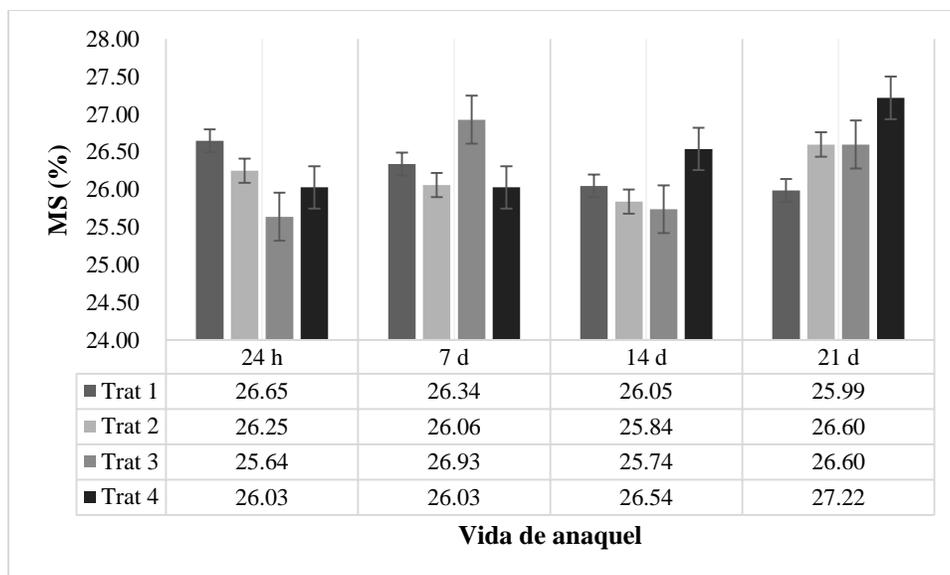
el día 7 se mostraron valores de 3.89 hasta 4.33%. Posteriormente, en el día 14 se obtuvieron valores entre 3.89 y 4.33. Finalmente en el día 21 los resultados se mostraron entre 3.80 y 4.11 (Figura 10).



T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
h= horas; d= días.

Figura 10. Porcentaje de cenizas en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

Los valores registrados en materia seca (MS) durante las primeras 24 *post mortem* correspondieron entre 26.03 y 26.65% de MS. A los 7 días se mostraron valores 26.03 – 26.93. En el día 14 se registraron valores de 25.84 – 26.54%. El día 21 los resultados obtenidos fueron entre 25.99 y 26.60% (Figura 11).

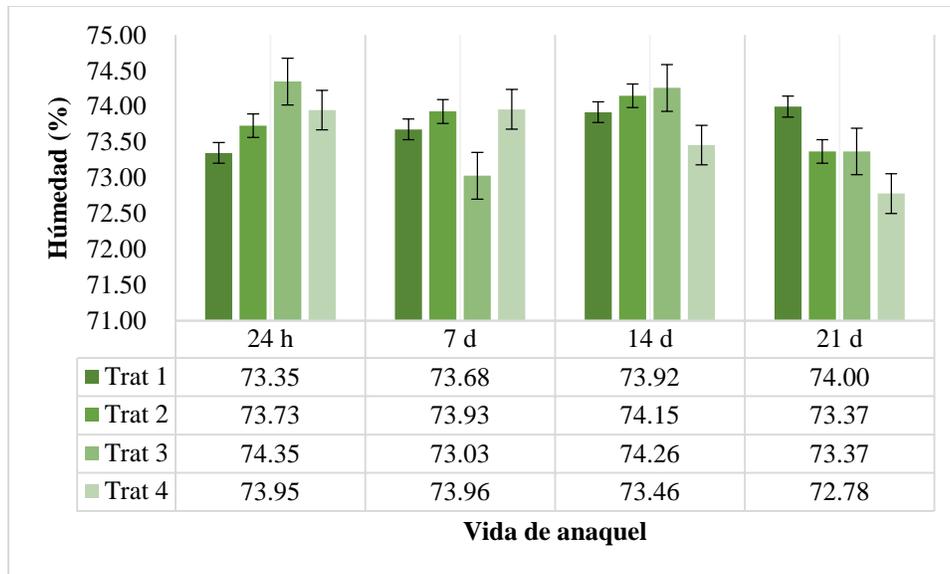


T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
MS= materia seca; h= horas; d= días.

Figura 11. Porcentaje de materia seca en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C), durante la vida de anaquel

El contenido de humedad registrado en las primeras 24 h posteriores a la matanza fue de 73.35 a 74.95. A los 7 días se registraron valores de 73.03 a 73.96. En el día 14 las observaciones fueron entre 73.46 y 74.26. Finalmente para el día 21 el contenido de humedad fue de 72.78 y 74.00% (Figura 12).

Tornber (2005) obtuvo resultados similares en la composición química de la carne a los observados en el presente estudio, registrando 75% de humedad, 20% de proteínas, 3% de grasa, y sustancias no proteicas 2% incluyendo minerales, vitaminas y carbohidratos. En general el análisis realizado en la carne (*Longissimus dorsi*) correspondiente a las 24 h después del sacrificio y durante el periodo de vida de anaquel (7, 14 y 21 días), concordante con lo reportado por Geay *et al.*, (2001), quienes determinaron que la composición química de los músculos es relativamente constante, aproximadamente el 75% se compone de agua, 19 a 25% de proteínas y de 1 a 2% minerales y la mayor variabilidad observada es el contenido de lípidos



T1= testigo; T2= dieta con el 5% de glicerol; T3= dieta con el 10% de glicerol; T4= dieta con 15% de glicerol.
 MS= materia seca; h= horas; d= días.

Figura 12. Porcentaje de humedad en *Longissimus dorsi*, bajo condiciones de almacenamiento (4°C) durante la vida de anaquel

8. CONCLUSIONES

La utilización de glicerol hasta en 15% en dietas para ovinos, puede sustituir parcialmente al maíz como fuente de energía, sin afectar negativamente las variables productivas, teniendo una respuesta adecuada en la concentración de AGV, donde se observó un incremento en la producción de propionato en relación a las concentraciones de inclusión de glicerol, relacionado con la calidad de la carne. El rendimiento de la canal no se vio afectado por la inclusión de glicerol, así como las características físico-químicas de la carne como el color, EE, cenizas y MS, permaneciendo dentro de los parámetros normales durante la vida de anaquel. Y se observó una mayor concentración en la CRA, efecto causado por una hiperhidratación al utilizar glicerol, lo cual origina una degradación lenta de las proteínas durante el tiempo de almacenamiento.

9. LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis of the association of Official Agricultural Chemists. 17th Edition Published by the Association of Official Agricultural chemists. M.D. USA. 1, 500.
- Aberle E., Forrest J., Gerrad D. and Mills E. 2001. 4th edition. Principles of Meat Science. Kendall/Hunt Publishing Company. USA
- Abo El-Nor S., AbuGhazaleh A. A., Potu R. B., Hastings D., Khatta M. S. A. 2010 . Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Anim. Feed Sci. Technol.* 162: 99-105
- Agarwal A.K. 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines. *Progress in Energy and Combustion Science.* v. 33, n. 3, pp. 233-271.
- Allen M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83(7), 1598–1624.
- Álvarez-Maciel C. 2009. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa.* Núm. 359, julio-agosto 2009, pp. 63-89. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>.
- Arteaga C. J. D. 2007. Diagnostico actual de la situación de los ovinos en México. En Unión Nacional de Ovinocultores, Memorias del VIII Congreso Mundial del Cordero y la Lana. Santiago de Querétaro, Querétaro. México: UAQ-AMTEO.
- Asad U. R., Saman W. R. G., Nomura N., Sato S., Matsumura M. 2008. Pretreatment and utilization of raw glycerol from sunflower oil biodiesel for growth and 1, 3-propanediol production by *Clostridium butyricum*. *J. Chem. Technol Biotechnol.* 83:1072-1080
- Ayoub M., Abdullah A. Z.. 2012. Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 16: 2671-2686.

- Bayer E. 1961. Gas Chromatography. D: Van Nostrand Co. LTD.
- Behrends J.M., Mikel W. B., Armstrong C. L. and M.C. Newman. 2003. Color stability of Semitendinosus, semimembranosus, and biceps femoris steaks packaged in a high-oxygen modified atmosphere. *Journal of Animal Sc.* 81: 2230-2238.
- Benitez S., Giraldo L. A., Correa G. 2011. Producción y calidad de la leche en bovinos Holstein suplementados con glicerina cruda. *Rev Col Cienc Pec.* 24 (3):475.
- Bergner H., Kijora C., Ceresnakova Z. and Szakacs J., 1995. In vitro unter suchungen zum glycerin um satz durch pansen mikroorganismen. *Arch. Anim. Nutr.* 48, pp. 245-256.
- Bressan M. C., Prado O. V., Pérez J. R. O., Lemos A. L. S. C, Bonagurio S. 2001. Efeito do peso ao abate de cordeiros Santa Inês e Bergamácia sobre as características físico-químicas da carne. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas*, v. 21, n. 3, p. 293-303.
- Calsamiglia S., Ferret A. 2002. Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva : acidosis y meteorismo. XVIII Curso de especialización FEDNA. pp. 97-115. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/metabolicas/metabolicas_bovinos/27-acidosis_meteorismo.pdf.
- Camacho R., Ortiz S. y García T. 2005. Engorda de ovinos en sistema semiestabulado. Colegio de postgraduados. Texcoco Edo., de México. Manual del participante. pp.14
- Cannon J.E., Morgan J. B. Schmidt G. R., Tatum J. D., Sofos J. N., Smith G. C., Delmore R. J. and Williams S. N. 1996. Growth and Fresh Meat Quality Characteristics of Pigs Supplemented with Vitamin E. *Journal of Animal Sc.* 74: 98-105.
- Castañeda S. R., Antonio F. B., Teixeira S. and Osmari M. 2014. Evaluación de la inclusión de glicerina cruda en la dieta de ganado de carne: la digestibilidad de nutrientes aparente y la síntesis de proteína microbiana. *Zootecnia Trop.* vol.32 no.2 Maracay.
- Church D. C. y Pond, W. G. 2004. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de animales. México: Limusa Wiley. pp. 295-307, 31-47.

- Cirio A., Tebot I. 1998. Fisiología Metabólica de los Rumiantes. Departamento de Fisiología, Facultad de Veterinaria, Montevideo. Bolsa del Libro.
- Ciro A; Tebot, I. 1996. Digestión y Absorción de Lípidos en el Rumiente y La Neoglucogénesis en el Rumiente en: Fisiología Metabólica de los Rumiantes, Departamento de Fisiología, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay.
- Consejo Mexicano de la Carne. 2015. Importaciones. Compendio estadístico 2015 de la industria carnica mexicana. Mexico. Disponible en <http://infocarne.comecarne.org/compendio/visualizar?comp=8>.
- Cuellar O. J. A. 2006. La producción ovina en México. Descripción general de la ovinocultura empresarial de occidente. Memorias de la Primera Semana Nacional de Ovinocultura en Tulancingo Hidalgo, México. 347p.
- Cuellar O. J. A., Tortora P. J., Trejo G. A., Román R.P. 2012. La Producción Ovina Mexicana, Particularidades y Complejidades. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, SAGARPA, México.
- Czerkawski J.W., and G. Breckenridge. 1972. Fermentation of various glycolytic intermediates and other compounds by rumen micro-organisms, with particular reference to methane production. Br. J. Nutr. 27:131-146.
- Dasari M. A., Kiatsimkul P. P., Sutterlin W. R and Suppes G. J. 2005. Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. Appl. Catal. Gen. 281:225–231.
- De Frain J.M., Hippen A.R., Kalscheur K.F., Jardon P.W. 2004. Feeding glycerol to transition dairy cows : effect on blood metabolites and lactation performance. Journal Dairy Science, 87: 4195 – 4206.
- Domínguez V. I. A., González M. S. S., Pinos R. J. M., Bórquez G. J. L., Bárcena G. R., Mendoza M. M., Zapata L. E. y Landios P. L. L. (2009). Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. Anim. Feed Sci. Technol., 152, 42_49.

- Donkin S. S. and Doane P. 2007. Glycerol as a feed ingredient in dairy rations. Tri State Dairy Nutrition Conference. Fort Wayne, IN. The Ohio State University, Columbus. p. 97-104.
- Donkin S.S. 2008. Glycerol from biodiesel production: the new corn for dairy cattle. *Revista brasileira de zootecnia*. 37: 280-286.
- Drackley K. 2008. Opportunities for Glycerol Use in Dairy Diets. From: Four-State Dairy Nutrition and Management Conference. Dubuque, Iowa. p. 113- 118.
- Drouillard J. S. 2012. Utilization of crude glycerin in beef cattle. In H. P. S. Makkar (Ed.), *Biofuel co-products as livestock feed — Opportunities and challenges* (pp. 155–161). Rome: Food and agriculture organization of the United Nation.
- Duane T., Johnson D. T., Taconi K. A. 2007. The glycerin glut: options for the value-added conversion of crude glycerol resulting from biodiesel production. *Environmental Progress*. 2(4): 338-348.
- Elam N. A., Eng K. S., Bechtel B., Harris J. M., and Crocker R. 2008. Glycerol from biodiesel production: Considerations for feedlot steers. Southwest Nutrition Conference. Tempe, AZ — USA.
- Erwin E. S., Marco G.J., Emery E. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy. Sci.* 44:1768-1771.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2014. Consumo de carne. Departamento de Agricultura y Producción del Consumidor, Producción y Sanidad Animal. Disponible en www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html.
- Faria P. B., Bressan M. C., Vieira, J. O., Vicente-Neto J., Ferrao S. P. B., Rosa F. C. and Monteiro M. 2012. Meat quality and lipid profiles in crossbred lambs finished on clover-rich pastures. *Meat Science*, 90, 733-738.
- FDA. Food And Drug Administration. 2006. Code of Federal Regulations. Food and drug administration department of health and human services - subchapter e- animal drugs, feeds and related products. v. 21, p. 582-1320.

- FDA. Food And Drug Administration. 2006. Code of Federal Regulations. Food and drug administration department of health and human services - sudchapter e- animal drugs, feeds and related products. v. 21, p. 582-1320.
- Ferraro S. M., Mendoza G. D., Miranda L. A., Gutiérrez C. G. 2009. In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154:112-118.
- Foidl N. et al. 1996. *Jatropha curcas* L. as a Source for the Production of Biofuel in Nicaragua. *Bioresource Technology.* v. 58, pp.77-82.
- Freund B. J., Montain S. J., Young A. J., Sawka M. N., DeLuca J. P., Pandolf K. B., and Valeri C. R. 1995. Glycerol hyperhydration: Hormonal, renal, and vascular fluid responses. *Journal of Applied Physiology*, 79(6), 2069–2077.
- Fuel-Testers 2009. Ethanol Fuel History. Disponible en: http://www.fueltesters.com/ethanol_fuel_history.html.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. p. 91.
- García S. A. 1996. *Fisiología Veterinaria*. Primera Edición. Ed. McGraw Hill Interamericana.
- García T. S., Espejo M., López P. M., Izquierdo M., Mendizábal J. A. y Purroy A. 2005. Conformación, engrasamiento y sistema de clasificación de la canal bovina. En Cañeque, V. y Sañudo, A. C. (eds.), estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid: INIA. (Serie Ganadera Núm. 3).
- Garrido M. D., Bañon S., Alvares D. 2005. Medida del pH. En: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografía INIA Madrid, goats. *Journal of Animal Science* 77 (Suppl. 1), 267.

- Garriz C. 2001. Calidad organoléptica de la carne vacuna influencia de factores biológicos y tecnológicos. Disertación jornada ganadería vacuana, Fa. Agr. Y Vet. UNRC 23 de mayo 2001.
- Garton G. A., Lough A. K., and Vioque E. 1961. Glyceride hydrolysis and glycerol fermentation by sheep rumen contents. *J. Gen. Microbiol.* 25:215-225.
- Geay Y., Bauchart D., Hocquette J. and Culioli J. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction, Nutrition, Development*, 41, 1–26.
- Goenaga I. 2010. Estabilidad del color de la carne de ternera. Escuela Superior de ingenieros agrónomos. Universidad pública de Navarra.
- Gonzalez-Padilla E. 2009, Situación y Perspectiva de los Ovinos y Caprinos en México. Memorias del VI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericano. Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México.
- Guerrero I. E., Poncey M. L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, México, D.F.
- 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. *The Professional Animal Scientist*, 26: 298 – 306.
- Hamm R. 1960. Biochemistry of meat hidratation. *Adv. Food Res.* 10, 355-365.
- Hess W., Moss G., Rule D. 2007. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *Journal of Animal Science* 86, 188-204.
- Hobson P. N. and Mann S. O. 1961. The isolation of glycerol fermenting and lipolytic bacteria from the rumen of sheep. *Journal of General Microbiology.* 25: 227-240.

- Huff-Lonergan E. and S.M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71, 194–204.
- Hui Y. H., Guerrero I. and Rosmini M. 2006. *Ciencia y Tecnologia de Carnes*. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Balderas 95, Mexico, D.F.
- Joo S. T., Kauffman R. G., Kim B. C. y Park G. B. 1999. The relationship of sarcoplasmatic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle. *Meat Sci.*, 52, 291-297.
- Kadim I. T., Al-Karousi A., Mahgoub O., Al-Marzooqi W., Khalaf S. K., Al-Maqbali R. S., Al-Sinani S. S. H., Raiymbek G. 2013. Chemical composition, quality and histochemical characteristics of individual dromedary camel (*Camelus dromedarius*) muscles. *Meat Science*, Barking, v. 93, n. 3, p. 564-571.
- Kannan G., Chawan C. B., Kouakou B. y Gelaye S. 2002. Influence of packaging Method and Storage Time on Shear Value and Mechanical Strength of Intramuscular Connective Tissue of Chevon. *Journal of Animal Sc.* 80: 2383-2389.
- Karinen R. S., Krause A. O. I. 2006. New biocomponents from glycerol. *Applied Catalysis* 306:128- 133.
- Kerr B. J., Dozier W. A., and Bregendahl K. 2007. Nutritional value of crude glycerine for nonruminants. In: *Proc. 23rd Carolina Swine Nutrition Conference*, Raleigh, NC: p.6- 18
- Khalili H., Varvikko T., Toivonen V., Hissa K. and Suvitie M. 1997. The effects of added glycerol or unprotected free fatty acids or a combination of the two on silage intake, milk production, rumen fermentation and diet digestibility in cows given grass silage based diets. *Ag. Food Sci. in Finland* 6:349-362.
- Kijora C., Bergner H., Gotz K. P., Bartelt J., Szakacs J. and Sommer A. 1998. Research note: investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. *Arch. Tierernahr.*
- Korbitz W. 1999. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. *Renewable Energy.* 16(1-4):1078-83.

- Krause K.M. and Oetzel G.R. 2006 Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review, *Animal Feed Science and Technology*, 126, 215-236.
- Krehbiel C.R. 2008. Ruminal and physiological metabolism of glycerin. *Journal Animal Science*, 86: 392.
- Kristensen N. B. and Raun B. M. L. 2007. Ruminal fermentation, portal absorption, and hepatic metabolism of glycerol infused into the rumen of lactating dairy cows. In: International symposium on energy and protein metabolism and nutrition 2, Ortigues- Marty, Proceedings...Marty: EAAP Publication, Wageningen Academic Publishers. 355-356 p.
- Krueger N. A., Anderson R. C., Tedeschi L. O., Callaway T. R., Edrington T. S. and D.J. Nisbet. 2010. Evaluation of feeding glycerol on free-fatty acid production and fermentation kinetics of mixed ruminal microbes in vitro. *Bioresource Technology* 101: 8469–8472.
- Lage J. F., Berchielli T. T., San Vito E., Silva R. A., Ribeiro A. F., Reis R. A., Dallantonia E. E., Simonetti L. R., Delevatti L. M. 2014. Machado, M. Fatty acid profile, carcass and meat quality traits of young Nelore bulls fed crude glycerin replacing energy sources in the concentrate. *Meat Science*, Barking, v. 96, n. 3, p. 1158–1164.
- Lage J. F., Paulino P. V. R., Pereira L. G. R., Valadares Filh 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, v. 45, n. 9, p. 1012-1020.
- Lawrie R. A. 1985. *Meat Science*. Pergamon Press, p'p. 92-107, Oxford.
- Leão J. P., Ramos A. T., Marou, V. M., Souza D. P. M., Neiva J. N. M., Restle J., Moron S. E. 2012. Anatomopatologia de amostras de bovinos alimentados com glicerol. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1253-1256.
- Lebzien P. and Aulrich K. 1993. Zum Einfluss von Glycerin auf die Rohrnährstoffverdaulichkeit und einige Pansenparameter bei Milchkühen. *VDLUFA-Schriftenreihe* 37, 361-364.

- Lee S. Y., Lee S. M., Cho Y. B., Kam D. K., Lee S. C., Kim C. H. and Seo S. 2011. Glycerol as a feed supplement for ruminants: In vitro fermentation characteristics and methane production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167:269–274.
- Leek B.F. 1993. Digestion in the ruminant stomach. En: M. J. Swenson and Reece (eds) *Duke's Physiology of Domestic Animals* 11th ed. Cornell University Press, Itaca pp. 387-396.
- Liddle R. A., Goldfine I. D., Rosen M. S., Taplit, R. A. and Williams J. A. 1985. Cholecystokinin bioactivity in human plasma. Molecular forms, responses to feeding, and relationship to gallbladder contraction. *The Journal of Clinical Investigation*, 75(4), 1144–1152.
- Lide D. R., 2006. Editor-in-chief; *Handbook of Chemistry and Physics*, 87th ed., Taylor and Francis Group: Boca Raton.
- Lindon W., Mamani L., Gallo C. 2011. Composición química y calidad instrumental de carne de bovino, llama (*Lama glama*) y caballo bajo un sistema de crianza extensiva. *Rev. Inv. Vet. Perú*; 22, 301-311.
- López R. V. y Casp A. V. 2004. *Tecnología de los mataderos*. 1era Ed. México, D. F. 430p.
- Lounglawan P., Lounglawan W., Wisitiporn S. 2011. Effects of feeding glycerol to lactating dairy cows on milk production and composition. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 80: 481-483. Disponible en <http://www.waset.org/journals/waset/v80/v80-91.pdf>.
- Lui Q., Lanari M. and Schaefer D. M. 1995. A Review of Dietary Vitamin E Supplementation for Improvement of Beef Quality. *Journal of Animal Sc.* 73: 3131-3140
- Mancini R. A., Hunt, M. C. 2005. Current research in meat color. *Meat Science, Barking*, v. 71, n.3, p. 100–121,
- Marín A. y Correa P. 2011. Evaluación de diferentes niveles de inclusión del glicerol como subproducto de biocombustible en la fermentación ruminal in vitro de forrajes usados

- en vacas para la producción de leche en el trópico alto y bajo. Trabajo de grado. Medellín. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. 55 p.
- Marwa F. A. A., Nour E.I., Din A.N., El-Shazly K.A., Sallam S.M. 2013. Effect of Quebracho Tannins Supplementation on Nutrients Utilization and Rumens Fermentation Characteristics in Sheep. *Alex J Agric Res.* 58:165- 171.
- McCullough H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clin. Chem.* 17:297-304.
- Melero 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.
- Mota C. J. A., da Silva C. X. A., Gonçalves V. L. C., *Quim.* 2009. *Nova.* 32, 639.
- Neir H. M. Mc., Bonelli E. J. 1969. *Basic gas chromatography.* 2nd. Varian Instruments Division Offices.
- NRC. National Research Council. 1985. *Nutrient Requirements of Sheep.* National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC. National Research Council. 2007. *Nutrient requirements of small sheep, goats, cervids, and new world camelids.* The National Academy Press. Washington, D.C. p. 362.
- Ogborn K.L, 2006. *Effects of method of delivery of glycerol on performance and metabolism of dairy cows during the transition period.* Thesis Degree of Master of Science. New York City, USA. Cornell University. 90 p
- Oliveira E. A., Sampaio A. A. M., Henrique W., Pivaro M. T., Rosa B. L., Fernandes A. R.M., et al. 2012. Quality traits and lipid composition of meat from Nellore Young Bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. *Meat Science*, 90(1), 28–35.

- Onega P., Ruiz H. 2003. Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Departamento de nutrición y bromatología III, Universidad Complutense de Madrid.
- Owens F. N. and Gardner, B. A. 2000. A review of the impact of feedlot management and nutrition on carcass measurements of feedlot cattle. Proceedings of American Society of Animal Science.
- Paggi R.A., J. P. Fay and H.M. Fernandez. 1999. Effect of short-chain acids and glicerol on the proteolytic activity of rumen fluid. Anim. Feed Sci. Technol., 78: 341-347.
- Pagliario M., Rossi M. 2008. The Future of Glycerol - New Usages for a Versatile Raw Material, RSC Publishing: Cambridge.
- Palacios M. G. L., Lozano M. S. R., Martínez S. E. V. 2000. Efecto del cruzamiento, sexo y dieta en la composición química de la carne de ovinos Pelibuey con Rambouillet y Suffolk. Veterinaria México 31(1): 11-19.
- Palmquist D. L., and Jenkins T. C. 1980. Fat in lactation rations: Review. Journal of Dairy Science, 63(1), 1-14.
- Panea B., Sañudo C., Olleta J., Sierra I. 2010. Caracterización de la canal y la carne de la raza bovina Menorquina. Archivos de zootecnia, 59 , 467-470.
- Parker A. J., Dobson G. P., and Fitzpatrick L. A. 2007. Physiological and metabolic effects of prophylactic treatment with the osmolytes glycerol and betaine on Bos indicus steers during long duration transportation. Journal of Animal Science, 85(11), 2916-2923.
- Parsons G.L., Shelor M.K., Drouillard J.S. 2009. Performance and Carcass Traits of Finishing Heifers Fed Crude Glycerin. Journal Animal. Science, 87: 653-57.
- Partida P. J. A., Braña V. D., Jiménez S. H., Ríos R. F. y Buendía, R. G. 2013. Producción de carne ovina. México: INIFAP (Libro Técnico Núm. 5).

- Pasachoa J. 2010. Comportamiento de carne bovina madurada empacada en condiciones de atmosfera modificada procedente de ganado de dos edades. Universidad Nacional de Colombia. Ciencia y Tecnología de Alimentos. pp 21.
- Posada J. A., Cardona C. A.. 2010. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel. Ing. Univ., Bogotá. 14 (1): 9-27.
- Purchas R.W., Yan X. and Hartley D. G. 1999. The influence of a Period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef m. longissimus thoracis. Meat Sc. 51:135-141.
- Radish A. 2004. Biodiesel Performance, Costs and Use. Energy Information Administration. Disponible en: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biodiesel>.
- Ramos E. M. and Gomide L. A.M. 2007. Avaliação da qualidade de carne: Fundamentos e metodologias. Viçosa, MG: Editora UFV (599 pp.).
- Rémond B., Souday E. and Jouany J. P. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes. Anim. Feed Sci. Technol.
- Roger V., Fonty G., André C., Gouet P. 1992. Effects of glycerol on the growth, adhesion, and Cellulolytic Activity of Rumen Cellulolytic Bacteria and Anaerobic Fungi. Current Microbiology, 25 :197-201.
- Rubio M. D. L. S., Torres N., Gutiérrez J., Méndez R. D. 2004. Composition and sensory evaluation of lamb carcasses used for the traditional Mexican lamb dish, “barbacoa”. Meat science67(2): 359-364.
- Russell J. B. 1998. The Importance of pH in the Regulation of Ruminant Acetate to Propionate Ratio and Methane Production In Vitro. J. Dairy Sci. 81: 3222-3230.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017. Impulsa SAGARPA producción de Biocombustibles en México. Disponible en http://sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0057_11.aspx.

- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Aliemntación. 2005. Producción pecuaria. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/prod001.htm>.
- Sainz R. D. 1996. Qualidade de carcaças e de carnes de ovinos e caprinos. In: reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 33., 1996, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia. p. 3-14.
- Salamatinia B., Mootabadi H., Bhatia S. and Abdullah A.Z. 2010. Optimization of ultrasonic-assisted heterogeneous biodiesel production from palm oil: A response surface methodology approach. *Fuel Processing Technology*. 91: 441-448.
- Sañudo C., Arribas M. D. M. C. and Silva Sobrinho A. G. 2008. Qualidade da carcaça da carne ovina e seus fatores determinantes. p.177-228. In: *Produção de carne ovina*. Silva Sobrinho, A. G., ed. FUNEP, Jaboticabal, Brazil.
- SAS. Statistical Analysis Sistem. 2002. SAS Proceeding Guide, Version 9.0 SAS Institute. Cary NC.USA.
- Schoonmaker J. P., Fluharty F. L., and Loerch S. C. 2004. Effect of source and amount of energy and rate of growth in the growing phase on adipocyte cellularity and lipogenic enzyme activity in the intramuscular and subcutaneous fat depots of Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 82(1), 137–148.
- Schröder A., Südekum K. H. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. In: Wratten, N., Salisbury, P.A. (Eds.), *New Horizons for an Old Crop*. Proc. 10th Int. Rapeseed Congr., Canberra, Australia. Paper No. 241. The Regional Institute Ltd., Gosford, New South Wales, Australia.
- SDA. Soap and Detergent Association. 1990. *Glycerine: An Overview*. The Soap and Detergent Association, Glycerine and Olechemical Division. New York, USA. Disponible en http://www.aciscience.org/docs/Glycerine_-_an_overview.pdf.
- SENER. Secretaria de Energía. 2009. Programa de introducción de bioenergéticos. México: Gobierno Federal.

- Shenouda S. Y. K. 1980. Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. *Advances in Food Research* 26:275-311.
- Shin J. H., Wang D., Kim S. C., Adesogan A. T., Staples C. R. 2012. Effects of feeding crude glycerin on performance and ruminal kinetics of lactating Holstein cows fed corn silage or cottonseed hull-based, low-fiber diets. *Journal Dairy Science*, 95: 4006 – 4016.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 2016. Avance de la Producción Pecuaria por producto. Producción Ganadera. México. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>.
- Südekum K., Schröder A., Fiebelkorn S., Schwer R. and Thalmann A. 2008. Quality characteristics of pelleted compound feeds under varying storage conditions as influenced by purity and concentration of glycerol from biodiesel production. *J. Anim. and Feed Sci.* 17:120136.
- Thompson J.C. and He B. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Eng. Agri.* 22(2): 261-265.
- Tornberg E. 2005. Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science* 70:493-508. doi: 10.1016/j.meatsci.2004.11.021
- Torrescano U. G. R. 2009. Características de la canal y calidad de la carne de ovinos pelibuey, engordados en Hermosillo, Sonora, México.
- Trabue S., Scoggin K., Tjandrakusuma S., Rasmussen M., and Reilly J. 2007. Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric. Food chem*; 55, pp. 7043-7051.
- Ulrich H. S. S. 2009. Carne: composición, cortes y reacciones. Disponible en <http://alimentosdemetal.blogspot.mx/2009/05/carnes-composicion-cortes-y-razones.html>>.
- UNNE. 2011. Producción de pequeños rumiantes y cerdos. Universidad Nacional del Nordeste Buenos Aires, Argentina. Facultad de Ciencias Veterinarias, 154-167.

- Vilaboa A.J. 2006. Proyecto: Comercialización de carne de ovino – Primera parte. Disponible en <https://www.engormix.com/MA-ovinos/articulos/proyecto-comercializacion-carne-ovino-t870/p0.htm>.
- Wang C., Liu Q., Yang W. Z., Huo W. J., Dong K. H., Huang Y. X., Yang X. M., He D. C. 2009a. Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein Dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 151: 12 – 20.
- Wang C., Liu Q., Yang W. Z., Huo W. J., Yang W. Z., Dong K. H., Huang Y. X., Guo G. 2009b. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Science*, 121: 15 – 20.
- Warris P. D. 2003. *Ciencia de la carne*. España: Acribia.
- Warris P.D. 1990. The handling of cattle pre-slaughter and its effects on carcass and meat quality. *Applied animal behaviour science*.
- Yang F., Milford A. H. and Runcang S. 2012. Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels*: 5: 1-10.
- Yong K. C., Ooi T. L., Dzulkefly K., Wan Yunus W M.Z. and Hazimah A. H. 2001. Characterization of glycerol residue from a palm kernel oil methyl ester plant. *Journal of Oil Palm Research* 13 (2): 1-6.
- Young J., Karlsson A., Henckel P. 2004. Water-holding capacity in chicken breast muscle is enhanced by pyruvate and reduced by creatine supplements. *Poultry Science*, 83, 400-405.
- 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.

10. ANEXOS

VARIABLES PRODUCTIVAS

TRAT	REP	GDP	CMS	CA	PESOI	PESOF
1	1	0.353	1.607	4.5	21.3	42.5
1	2	0.363	1.578	4.3	22	43.8
1	3	0.39	1.573	4	27	50.4
1	4	0.333	1.532	4.6	25.7	45.7
1	5	0.367	1.565	4.3	23.5	45.5
1	6	0.42	1.629	3.9	24	49.2
1	7	0.362	1.321	3.7	21	42.7
1	8	0.4	1.68	4.2	27.9	51.9
1	9	0.418	1.716	4.1	24.2	49.3
1	10	0.342	1.491	4.4	24	44.5
2	1	0.415	1.66	4	23.6	48.5
2	2	0.388	1.498	3.9	21.1	44.4
2	3	0.417	1.655	4	21.5	46.5
2	4	0.357	1.493	4.2	22.3	43.7
2	5	0.412	1.7	4.1	24.8	49.5
2	6	0.332	1.444	4.4	26.4	46.3
2	7	0.382	1.653	4.3	26.6	49.5
2	8	.	.	.	.	.
2	9	0.437	1.51	3.5	21.1	47.3
2	10	0.354	1.548	4.4	26.65	47.9
3	1	0.318	1.272	4	24.4	43.5
3	2	0.341	1.566	4.6	24.75	45.2
3	3	0.395	1.701	4.3	25.7	49.4
3	4	0.39	1.662	4.3	26.1	49.5
3	5	0.387	1.599	4.1	23.9	47.1
3	6	0.362	1.096	3	20.7	42.4
3	7	0.355	1.694	4.8	29.6	50.9
3	8	0.343	1.32	3.8	19.6	40.2
3	9	0.4	1.648	4.1	24.2	48.2
3	10	0.378	1.623	4.3	27	49.7
4	1	0.4	1.652	4.1	24.6	48.6
4	2	0.388	1.367	3.5	19.4	42.7
4	3	0.333	1.325	4	21	41
4	4	0.343	1.426	4.2	23.45	44
4	5	0.277	1.284	4.6	26	42.6
4	6	0.359	1.63	4.5	28.75	50.3

4	7	0.297	1.549	5.2	23	40.8
4	8	0.398	1.738	4.4	24	47.9
4	9	0.393	1.728	4.4	25.25	48.8
4	10	.	.	.	.	.

VARIABLES RUMINALES

TRAT	REP	pH	NNH3	ACE	PRO	BUT
1	1	5.9	15.1	73.72	16.51	9.77
1	2	5.4	14.7	74.93	15.92	9.15
1	3	5.8	13.8	75.06	15.87	9.07
1	4	6	14.4	74.84	15.77	9.38
1	5	6.9	14.7	79.2	11.17	9.63
1	6	6.2	16.4	68.01	22.17	9.82
2	1	5.9	15.9	73.91	16.27	9.81
2	2	5.8	15.3	74.27	16.15	9.58
2	3	6.9	15	79.66	11.25	9.08
2	4	6.5	16.4	69.4	19.13	11.48
2	5	5.8	14.3	68.91	20.57	10.53
2	6	6.8	15.1	67.95	22.27	9.77
3	1	6.8	16.5	68.94	20.45	10.6
3	2	6.9	16.7	68.63	20.14	11.22
3	3	5.8	16.5	70.56	18.89	10.55
3	4	6.2	17.7	69.82	19.72	10.46
3	5	7	15.3	70.53	19.26	10.2
3	6	5.6	17.5	68.31	22.23	9.46
4	1	6.2	16.5	69.19	20.65	10.17
4	2	6.3	17	66.64	22.78	10.59
4	3	5.8	16	68.2	21.43	10.37
4	4	6.7	17.5	66.88	22.94	10.18
4	5	6.7	18	67.16	22.42	10.43
4	6	6.1	19	67.5	22.31	10.2

ESPESOR DE GRASA DORSAL Y ÁREA DEL OJO *LONGISSIMUS DORSI*

TRAT	REP	TIEMPO	EGD	AOL
1	1	1	2	807
1	2	1	2	834
1	3	1	2	981
1	4	1	2	711
1	5	1	2	685

1	6	1	2	795
1	7	1	1	671
1	8	1	2	890
1	9	1	2	818
1	10	1	3	974
2	1	1	2	830
2	2	1	2	775
2	3	1	2	932
2	4	1	2	862
2	5	1	2	745
2	6	1	2	889
2	7	1	2	839
2	8	1	2	701
2	9	1	2	773
2	10	1	2	971
3	1	1	2	830
3	2	1	2	775
3	3	1	2	932
3	4	1	2	862
3	5	1	2	745
3	6	1	2	889
3	7	1	2	839
3	8	1	2	701
3	9	1	2	773
3	10	1	3	971
4	1	1	3	994
4	2	1	2	617
4	3	1	2	641
4	4	1	2	809
4	5	1	3	919
4	6	1	2	801
4	7	1	2	812
4	8	1	3	1033
4	9	1	2	739
4	10	1	2	737
1	1	2	3	1081
1	2	2	5	1359
1	3	2	3	1368
1	4	2	4	1092
1	5	2	3	1212
1	6	2	5	1166

1	7	2	4	1159
1	8	2	3	1197
1	9	2	3	1119
1	10	2	5	1422
2	1	2	5	1127
2	2	2	4	1093
2	3	2	5	1265
2	4	2	4	1313
2	5	2	4	1315
2	6	2	5	1136
2	7	2	4	1026
2	8	2	5	1176
2	9	2	5	1369
3	1	2	4	1037
3	2	2	4	1109
3	3	2	5	1163
3	4	2	4	1083
3	5	2	4	1269
3	6	2	3	820
3	7	2	5	1329
3	8	2	3	1074
3	9	2	5	1251
3	10	2	5	1459
4	1	2	4	1265
4	2	2	4	1073
4	3	2	3	861
4	4	2	4	1190
4	5	2	4	1144
4	6	2	5	1065
4	7	2	4	1018
4	8	2	5	1289
4	9	2	4	1281

RENDIMIENTO DE LA CANAL

TRAT	REP	PSV	PVV	PCC	RCC	pHCC
1	1	49.4	41.62	25.2	51.01	6.9
1	2	52.6	43.57	26.8	50.95	7.3
1	3	52.7	42.7	27	51.23	7.3
1	4	49.9	41.4	23.1	46.29	6.7

1	5	51.4	41.3	25.1	48.83	7.1
1	6	51.1	42.33	25.2	49.32	7.3
2	1	52.1	42.79	25.8	49.52	7
2	2	49.4	41.43	25.3	51.21	6.9
2	3	51.2	43.75	26.3	51.37	7.2
2	4	48.7	39.86	25.1	51.54	7
2	5	53	42.5	25.5	48.11	7.5
2	6	50.4	42.81	25.4	50.4	7.7
3	1	50.6	42.23	25.4	50.2	7.4
3	2	51.2	43.82	26.4	51.56	6.8
3	3	49.2	40.26	24.3	49.39	7.4
3	4	54	46.06	27.2	50.37	7.7
3	5	52	42.32	25.5	49.04	7.5
3	6	52.3	41.7	26.7	51.05	6.5
4	1	52.3	42.89	27.2	52.01	7.2
4	2	49.6	41.24	25.8	52.02	7.1
4	3	53.9	44.35	26.7	49.54	6.7
4	4	50.8	42.57	25.8	50.79	6.8
4	5	52.1	42.26	25.2	48.37	7.5
4	6	49.9	43.02	25.4	50.9	7.2

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CARNE Y VIDA DE ANAQUEL

TRAT	REP	TIEMPO	pH	L	COLOR		CRA
					a	b	
1	1	1	6.12	32.9	17.16	4.11	26
1	2	1	6.18	39.76	18.52	5.29	24
1	3	1	6.22	35.41	17.58	3.67	21
1	4	1	6.1	36.23	19.52	4.07	23.5
1	5	1	5.99	36.08	17.79	3.88	27
1	6	1	6.01	39.45	18.66	4.83	25
2	1	1	6.18	36.55	16.61	3.6	27
2	2	1	6.14	39.6	18.73	5.31	28
2	3	1	6.23	36.36	17.81	3.79	27
2	4	1	6.11	32.98	16.41	3.65	30
2	5	1	5.99	30.43	16.07	2.8	27
2	6	1	6	42.98	18.44	4.87	30
3	1	1	6.19	38.67	18.16	4.57	24
3	2	1	6.2	38.63	18.49	4.42	27
3	3	1	6.25	34.68	17.79	4.43	30

3	4	1	6.13	38.37	17.59	4.1	30
3	5	1	6.08	35.15	16.62	1.74	30
3	6	1	6.18	35.46	17.91	6.44	29
4	1	1	6.22	33.78	19.1	2.65	27
4	2	1	6.19	38.19	17.46	5.13	27
4	3	1	6.16	31.19	15.47	2.56	31
4	4	1	6.11	36.6	17.99	5.46	29
4	5	1	6.04	37.71	18.06	4.42	28
4	6	1	6	38.28	18.76	4.49	27
1	1	2	6	33.75	16.47	3.6	15
1	2	2	5.99	38.44	18.57	4.46	18
1	3	2	5.94	34.75	17.59	3.66	17
1	4	2	5.9	35.75	17.31	3.72	20
1	5	2	6.05	38.74	16.66	4.38	17
1	6	2	5.93	35.89	18.65	3.73	20
2	1	2	6.1	37.35	18.07	3.52	26
2	2	2	5.97	40.06	17.14	5.43	27
2	3	2	5.98	35.43	17.72	3.8	22
2	4	2	5.79	32.5	16.18	3.04	24
2	5	2	5.92	30.19	15.87	1.98	24
2	6	2	5.97	42.47	19.07	4.4	25
3	1	2	6.1	37.48	17.44	4.45	20.1
3	2	2	5.96	41.19	17.71	4.54	23.4
3	3	2	5.9	34.82	17.59	3.67	22.3
3	4	2	5.93	39.46	16.72	4.28	23.4
3	5	2	6.01	30.55	14.26	3.46	20
3	6	2	5.9	36.45	20.4	4.11	22
4	1	2	5.99	29.88	15.45	4.53	21
4	2	2	5.93	38.84	19.11	3.71	21
4	3	2	5.89	29.68	16.55	2.72	30
4	4	2	6.03	38.61	15.83	3.77	23
4	5	2	5.92	36.95	18.09	4.05	22.9
4	6	2	5.9	37.01	18.86	4.76	23
1	1	3	5.88	35.42	16.86	2.9	17
1	2	3	5.8	37.31	18.94	4.08	16
1	3	3	5.9	33.63	17.28	4.38	16
1	4	3	5.86	33.95	16.52	3.17	18
1	5	3	5.81	37.05	17.55	3.96	17
1	6	3	5.9	35.99	17.71	5.1	20
2	1	3	5.82	35.84	17.48	3.89	20
2	2	3	5.8	41.87	17.13	3.98	18.4

2	3	3	5.84	34.23	17.97	3.25	19
2	4	3	5.86	31.91	15.76	2.5	17.5
2	5	3	5.81	30.15	14.12	2.47	19
2	6	3	5.79	40.22	16.92	5.45	18.4
3	1	3	5.82	37.29	17.67	4.54	18
3	2	3	5.81	37.67	17.93	4.77	14
3	3	3	5.8	34.29	16.2	3.25	19
3	4	3	5.86	34.1	18.15	3.83	15
3	5	3	5.81	28.09	16.1	2.45	16
3	6	3	5.79	40.25	17.44	4.29	11
4	1	3	5.8	30.13	16.67	2.18	16
4	2	3	5.82	38.23	17.6	4.72	17.9
4	3	3	5.81	31.96	14.67	3.05	18
4	4	3	5.92	34.33	19.03	2.31	15
4	5	3	5.84	35.46	17.92	4.74	16
4	6	3	5.89	38.37	17.95	4.36	17
1	1	4	5.7	34.94	17.02	3.21	12
1	2	4	5.8	36.59	17.96	3.92	13
1	3	4	5.72	33.91	16.65	3.22	11
1	4	4	5.68	31.03	17.21	2.61	16
1	5	4	5.71	36.59	16.1	3.61	14
1	6	4	5.6	35.86	16.06	4.31	16
2	1	4	5.69	34.73	16.96	3.47	16
2	2	4	5.81	38.26	18.18	4.19	16
2	3	4	5.7	35.03	17.95	3.4	18.9
2	4	4	5.69	31.52	15.55	1.98	16
2	5	4	5.7	28.35	13.64	1.67	15
2	6	4	5.68	37.11	16.69	3.17	16
3	1	4	5.71	34.4	16.97	3.54	19
3	2	4	5.8	40.65	17.93	4.98	20
3	3	4	5.74	32.31	17.08	2.98	13
3	4	4	5.69	34.23	16.15	2.52	12
3	5	4	5.7	28.44	15.72	2.21	12
3	6	4	5.67	31.59	17.11	2.9	15
4	1	4	5.76	28.74	14.73	2.61	12.5
4	2	4	5.77	35.58	16.13	2.94	13
4	3	4	5.69	29.3	14.89	2.45	13
4	4	4	5.89	34.35	18.27	3.06	13.5
4	5	4	5.71	35.13	18.57	4.14	14.5
4	6	4	5.79	34.88	16.98	2.96	11.8

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CARNE DURANTE LA VIDA DE ANAQUEL

TRAT	REP	TIEMPO	PC	EE	CENIZAS	HBS	MS
1	1	1	17.85	3.59	4.21	72.3	27.67
1	2	1	16.67	4.38	4.33	73.1	26.93
1	3	1	17.26	4.13	4.07	73.1	26.94
1	4	1	17.84	3.8	4.03	73.5	26.53
1	5	1	17.49	4.83	3.65	72.9	27.09
1	6	1	16.32	4.5	3.86	75.2	24.75
2	1	1	16.5	5.34	3.77	73.6	26.39
2	2	1	18.16	4.91	3.82	73.8	26.16
2	3	1	18.55	4.15	4.03	73.3	26.65
2	4	1	17.85	4.18	3.06	74	26.01
2	5	1	18.58	3.17	3.42	75.8	24.15
2	6	1	19.72	3.22	4.29	71.9	28.14
3	1	1	19.54	4.6	4.06	72.8	27.18
3	2	1	17.5	4.48	4.13	73.9	26.07
3	3	1	18.3	3.12	4.9	73.4	26.6
3	4	1	17.57	5.76	3.77	75.2	24.81
3	5	1	18.92	4.71	3.7	75.1	24.87
3	6	1	16.17	5.57	3.93	75.7	24.33
4	1	1	17.52	4.59	3.93	74.8	25.2
4	2	1	18.34	3.49	4.04	72.9	27.07
4	3	1	17.04	3.52	4.1	74.5	25.49
4	4	1	17.38	4.75	3.95	75.2	24.85
4	5	1	16.77	5.54	3.8	73.7	26.25
4	6	1	18.77	4.01	4.07	72.6	27.36
1	1	2	15.04	4.65	4.58	72.4	27.62
1	2	2	14.48	3.53	3.53	74.2	25.81
1	3	2	14.36	5.66	3.71	74.7	25.34
1	4	2	13.37	4.46	3.38	74.2	25.85
1	5	2	14.91	4.3	4.04	74	26
1	6	2	15.73	3.69	4.15	72.6	27.43
2	1	2	17.09	5.22	4.34	73.2	26.83
2	2	2	16.6	4.19	3.77	73.9	26.1
2	3	2	17.12	4.09	4.51	73.5	26.48
2	4	2	16.09	4.49	3.42	74.6	25.39
2	5	2	15.56	4.54	4.33	75.7	24.34
2	6	2	17.67	3.97	4.67	72.7	27.27
3	1	2	18.63	4.24	5.76	73	26.96
3	2	2	16.07	3.85	3.66	73.1	26.86

3	3	2	16.94	4.59	4.42	73.4	26.56
3	4	2	18.29	5.9	3.86	71	29
3	5	2	14.9	3.79	4.69	75.2	24.76
3	6	2	15.88	4.99	3.64	72.5	27.46
4	1	2	14.82	5.91	5.04	76	23.98
4	2	2	16.88	4.37	3.05	72.6	27.39
4	3	2	15.57	3.34	4.89	74.7	25.29
4	4	2	15.7	4.15	4	73.5	26.46
4	5	2	15.88	4.29	3.23	73.4	26.62
4	6	2	15.67	4.54	4.29	73.6	26.45
1	1	3	14.21	4.41	3.89	72.3	27.66
1	2	3	12.95	3.94	3.75	74.5	25.55
1	3	3	13.43	4.9	4.23	75.1	24.9
1	4	3	14.22	4.61	4.3	73.4	26.55
1	5	3	13.04	3.48	4	74.2	25.75
2	1	3	16.14	3.5	3.33	73.5	26.47
2	2	3	14.95	5.14	4.28	75.2	24.78
2	3	3	16.15	4.95	4.28	73.4	26.6
2	4	3	15.63	5.54	3.93	74.4	25.62
2	5	3	13.72	3.79	4.34	76.5	23.49
2	6	3	14.98	4.62	3.86	71.9	28.08
3	1	3	14.99	4.01	4.7	73.6	26.43
3	2	3	14.82	5.42	3.66	73.8	26.2
3	3	3	14.05	4.5	3.92	74.6	25.43
3	4	3	16.21	4.47	4.44	74.5	25.49
3	5	3	14.98	4.36	4.6	75.7	24.32
3	6	3	14.42	3.88	4.67	73.4	26.61
4	1	3	15.05	3.72	3.96	74.4	25.59
4	2	3	15.48	5.57	3.19	73.2	26.78
4	3	3	16.85	4.39	4	73	27.01
4	4	3	14.9	4.81	4.41	73.5	26.55
1	1	4	12.13	3.31	3.63	73.3	26.74
1	2	4	13.69	4.87	3.77	73.3	26.66
1	3	4	11.55	4.65	3.91	75.2	24.85
1	4	4	10.09	4.53	4.09	73.4	26.59
1	5	4	10.63	4.19	3.6	74.7	25.28
2	1	4	14.54	3.25	3.68	73.6	26.4
2	2	4	15.56	4.77	4.4	72.9	27.08
2	3	4	14.92	4.24	3.72	73.9	26.06
2	4	4	14.13	4.95	4.14	75.7	24.3
2	5	4	14.51	4.15	3.85	71.5	28.51

3	1	4	14.46	5.28	3.83	73.2	26.77
3	2	4	14.31	4.92	3.45	73.4	26.63
3	3	4	14.09	3.32	3.67	72.3	27.67
3	4	4	12.92	5.63	4.27	76.1	23.87
3	5	4	14.6	3.3	4.29	71.9	28.08
4	1	4	13.29	4.38	3.69	72.2	27.84
4	2	4	12.91	5.44	4.35	70	29.99
4	3	4	12.87	4.31	3.85	73.4	26.6
4	4	4	11.52	4.67	4.44	74.9	25.13
4	5	4	12.69	4.19	4.9	72.5	27.5
4	6	4	11.14	3.49	3.47	73.7	26.3

