

Evaluación de suplementos de grasas inertes ruminales en la dieta de ovinos sobre el consumo y digestibilidad de nutrientes, parámetros fisiológicos y componentes sanguíneos

Por

Elba Gabriela Benabe Carlo

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

CIENCIA ANIMAL

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO

RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGUEZ

2018

Aprobado por:

Abner Rodríguez Carías, PhD.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Luis C. Solórzano, PhD.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

John Fernández Van Cleve, PhD.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Martha Laura López-Moreno, PhD.
Representante Estudios Graduados

Fecha

José R. Latorre, PhD.
Director del Departamento

Fecha

Abstract

The effect of adding three ruminally-inert fats to the ovine diet on the voluntary feed intake, nutrient digestibility, physiological parameters and blood components were studied. Twelve, eight-month-old lambs with an average weight of 25kg were used for this experiment. Four diets formulated, to meet or exceed the recommendation of the “National Research Council” (NRC, 2007) on ovine growth, were used. The basal diet (control) provided 18% CP and was composed of 50% alfalfa hay, 38.35% cracked corn, 11.65% soybean meal (dry basis). Three sources of ruminally- inert fat supplements were fed at 1.75% of the dietary dry mater (DM): F1 & F2 consisted of an experimental blend of triglycerides (TG) and free fatty acids (FFA) or a FFA (85% C:16) supplement. The three experimental diets were composed of 50% alfalfa hay, 36.24% cracked corn and 12.01% soybean meal. The experimental diets were iso-nitrogenous with the basal diet. Each diet was offered daily at 4% of the animal’s body weight/dry matter basis (BW/DMB). The experiment lasted eighty-four days divided in four, twenty-one-day experimental periods. Each period was composed of a fourteen-day adaptation period followed by a data acquisition period of seven days. Feed offered, orts and feces along with water consumption were quantified and determined daily. Additionally, blood samples from every lamb were collected the last day of each period to determine various blood components (insulin, glucose, NEFA, β -hydroxybutyrate). The feed, orts an fecal samples were analyzed to determine DM, CP, starch, EE, NDF and fatty acid content. Data was analyzed in accordance to a 4x4 Latin Square experimental design. Orthogonal contrasts compared the experimental treatments as follows: control versus the three fat supplements, F1 vs FFA and F2 vs FFA. Period had a significant ($P<0.01$) impact on the intake of all components, except for CP which did not differ ($P>0.36$). The addition of fat to the diet increased the consumption of EE and NDF ($P<0.01$) but decreased the

consumption of starch ($P < 0.01$). The addition of fat increased EE content from 3.52% to 5.15% and resulted in higher consumption of various fatty acids, specifically, palmitic acid (C16:0). The diet DM digestibility did not differ among treatments and averaged 75.93%. There was greater digestibility of EE in the diets supplemented with F2 and FFA in comparison with the control (85.55%, 85.59% vs 81.20%, respectively) and also in NDF in the diet supplemented with F1 (45.88% vs 39.20%). The digestibility of MUFA showed significant differences for control (97.09%) vs. the average of the three fat supplements (F1 (93.33%), F2 (94.69%), FFA (97.825%)) and fats between them ($P < 0.01$). There were no significant differences ($P > 0.70$) in the blood composition with the addition of fats. The addition of ruminally-inert fats did not affect ($P > 0.35$) water consumption or the parameters associated with heat stress such as body temperature (39.41°C), respiratory rate (73.25 resp/min) and heart rate (109.28 BPM). In conclusion, the addition of 1.75% ruminally-inert fat in ovine diet increased EE consumption and digestibility of EE and NDF. The digestibility of TUFA and MUFA were greater in the control treatment than in those containing ruminally-inert fats and varied between treatments but the digestibility of PUFA was similar. The digestibility of linoleic acid, oleic acid and FA C18 was higher in FFA than in F2 and also the digestibility of linoleic and oleic acid was higher in AGL than in F1. Finally, the addition of ruminally-inert fats did not affect the blood parameters, water consumption or the physiological parameters associated with heat stress.

Resumen

Se estudió el efecto de la adición de tres fuentes de grasa inerte en el rumen en la dieta de ovinos sobre el consumo voluntario y la digestibilidad de varios nutrientes, parámetros fisiológicos y componentes sanguíneos. Se utilizaron 12 corderos criollos de aproximadamente ocho meses de edad con un peso promedio de 25kg. Se compararon cuatro dietas formuladas para cumplir con las recomendaciones del “National Research Council” (NRC, 2007) para ovinos en crecimiento. La dieta basal (control) contenía en estado natural 18% PB y esta compuesta de 50% de heno de alfalfa, 38.35% de maíz partido y 11.65% de harina de soya (base seca). Se evaluaron 3 suplementos de grasas inertes ruminales ya sea que fueran una mezcla de triglicéridos (TG) y ácidos grasos libres (AGL, F1 y F2) o AGL (85% C:16). Los suplementos grasos se incluyeron la 1.75% de la materia seca y consistían de 50% de heno de alfalfa, 36.24% de maíz partido y 12.01% de harina de soya (base seca). Las dietas eran iso-nitrogenadas y se ofrecieron diariamente a razón de 4% del PV del animal en BS. El experimento tuvo una duración de 84 días divididos en cuatro periodos experimentales de 21 días cada uno, 14 días de adaptación a la dieta y 7 de recolección de datos. En cada periodo se cuantificó y se muestreó el alimento ofrecido y rechazado y las heces excretadas. En adición se cuantificó el consumo de agua y se recolectaron muestras de sangre de cada ovino el ultimo día de cada periodo para determinar los niveles de varios componentes sanguíneos (insulina, glucosa, AGNE y β -hidroxibutirato). Las muestras recolectadas fueron sometidas para el análisis de contenido de MS, PB, almidón, EE, FDN y ácidos grasos. Los datos fueron analizados según un diseño experimental de cuadrado latino 4 x 4 e incluyó contrastes otogonales para comparar los tratamientos experimentales: el control versus el efecto promedio de los tres suplementados con grasa, F1 vs. AGL y F2 vs. AGL. Se encontró que el periodo tuvo un efecto significativo ($P < 0.01$) sobre el consumo de todos los componentes de la dieta con excepción de la PB. La adición de grasa a la dieta aumentó el consumo de EE y FDN ($P < 0.01$) pero disminuyó el consumo de almidón ($P < 0.01$). La adición de grasa aumentó ($P < 0.01$) el contenido de EE de 3.52 a 5.15% y resultó en mayor consumo de varios ácidos grasos, específicamente el ácido palmítico (C16:0). La digestibilidad de la MS de las dietas no difirió y promedió 75.93%, sin embargo, se mostró una mayor digestibilidad de EE en las dietas suplementadas con F2 y FFA en comparación al control (85.55, 85.59 vs. 81.20%) y el FDN de la dieta suplementada con F1 vs. control (45.88 vs. 39.20%). La digestibilidad de MUFA muestra diferencias significativas al comparar control (97.09%) vs. el efecto combinado de los tres suplementos grasos F1 (93.33%),

F2 (94.69%) y AGL (97.825); la digestibilidad de MUFA en F1 o F2 fue menor a AGL ($P<0.01$). En los contrastes ortogonales no se notó diferencia significativa ($P<0.70$) en la composición de sangre debido a la adición de las grasas. La adición de las grasas inertes ruminales no afectó el consumo de agua ni los parámetros asociados al estrés por calor como temperatura corporal (39.41°C), tasa respiratoria (73.25 resp/min) y ritmo cardíaco (109.28 pul/min). En conclusión, la adición de grasa inerte ruminal al 1.75% en la dieta de ovinos aumentó el consumo de EE y la digestibilidad de EE y FDN. La digestibilidad de TUFA y MUFA fue mayor en el tratamiento control que en aquellos conteniendo grasas inertes y vario entre las grasas pero la de PUFA fue similar. La digestibilidad de ácido linoleico, oleico y AG C18 fue mayor en AGL que en F2 y la de ácido linoleico y oleico fue mayor en AGL que en F1. Por último la adición de grasas inertes ruminales no afectó los componentes sanguíneos, el consumo de agua ni los parámetros fisiológicos asociados al estrés por calor.

Dedicatoria

A

Cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares en esta etapa tan importante de mi vida. En específico a mis padres, Elba Carlo y Luis Benabe, por su apoyo, consejos y amor incondicional, y mi abuela, Nydia Corcino, por inculcar en mí el amor por la naturaleza.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco al presidente del comité, el profesor Dr. Abner Rodríguez Carías por creer en mí y darme la oportunidad de hacer la maestría bajo su tutela, aconsejarme, compartir sus conocimientos, su paciencia y siempre estar a la disposición y al pendiente de todo, sin su ayuda esto no hubiera sido posible. Agradezco al Dr. Luis Solórzano por proveer las grasas utilizadas, compartir sus conocimientos, por su ayuda en el diseño experimental y el análisis de los datos. Agradezco al Dr. Paul F. Randel QEPD, por su arduo trabajo en la corrección de los escritos y por último al Dr. John Fernández Van Cleve por ser parte de mi comité.

Agradezco a todas esas personas que me ayudaron en todo el proceso de la tesis, desde la colección de datos, el manejo de los animales hasta el apoyo emocional y académico que tanto he necesitado: Rafael Rodríguez (Bobby), Nicole Romero, Laura Solís, Zahudy Figueroa, Rosa Acosta, Jomar Rosado, Andrea Ríos, Valerie Morales, Luis Torres y María Ibañez.

Por último, pero no menos importante, mi familia. Gracias por siempre apoyarme en cada una de mis metas, por su ayuda en los momentos difíciles, por enseñarme a perseverar y por brindarme todo lo necesario para poder cumplir una meta más. A mis hijos caninos, Maya y West, por su compañía y amor incondicional. Bryan A. Peña-Cruz, mi compañero de vida, gracias por todo el apoyo que me has brindado en todo este proceso, a pesar de la distancia siempre has dicho presente.

Tabla de contenido

Abstract.....	ii
Resumen.....	iv
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Tabla de contenido.....	viii
Lista de cuadros.....	x
Lista de figuras.....	xi
Lista de abreviaturas.....	xii
Abbreviation list	xiii
1.0 Introducción.....	1
2.0 Revisión de literatura.....	2
2.1 Grasas y aceites como nutriente.....	2
2.1.1 Clasificación.....	3
2.1.1.1 Lípidos.....	3
2.1.1.2 Ácidos Grasos.....	3
2.1.1.3 Triglicéridos.....	5
2.1.2 Composición química y física.....	6
2.1.2.1 Determinación del contenido de humedad.....	6
2.1.2.2 Punto de Fusión.....	6
2.1.2.3 Índice de yodo.....	7
2.1.2.4 Rancidez (oxidación)	7
2.2 Metabolismo de Lípidos en Rumiantes.....	7
2.2.1 Digestión ruminal.....	7
2.2.2 Digestión y absorción en el intestino.....	10
2.2.3 Transporte y utilización de lípidos.....	11
2.3 Grasas Inertes Ruminales.....	11
2.3.1 Sales de calcio.....	12
2.3.2 Grasas hidrogenadas.....	12
2.3.3 Ácidos grasos de aceite de palma	13

2.4 Componentes sanguíneos asociados al metabolismo de lípidos.....	14
2.4.1 Insulina.....	14
2.4.2 Glucosa.....	15
2.4.3 Ácidos grasos no esterificados (AGNE)	15
2.4.4 β -hidroxibutirato (BHB).....	16
2.5 Relación entre la adición de grasas en la dieta y factores asociados al estrés térmico	16
2.5.1 Estrés Térmico.....	16
2.5.1.1 Respuesta de la alimentación al estrés térmico.....	17
2.5.1.2 Respuesta fisiológica.....	17
2.5.1.3 Respuesta en comportamiento.....	18
2.5.2 Suplementación de ácidos grasos.....	19
2.6 Una revisión de 100 años: la alimentación con grasa a las vacas lecheras.....	19
3.0 Objetivos	20
4.0 Materiales y Métodos.....	20
4.1 Animales y dieta.....	21
4.2 Consumo voluntario de alimento y agua.....	22
4.3 Determinación de la digestibilidad aparente de MS y otras fracciones.....	22
4.4 Componentes sanguíneos.....	22
4.5 Características de las grasas inertes	23
4.6 Micro estructura de la grasa presente en los suplementos fotografiada por microscopio electrónico de rastreo.....	23
4.7 Parámetros fisiológicos.....	23
4.8 Análisis estadístico.....	23
5.0 Resultados y Discusión.....	25
6.0 Conclusiones	44
7.0 Literatura Citada.....	45

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Nomenclatura de ácidos grasos más comunes	5
Cuadro 2. Perfil porcentual de ácidos grasos en el aceite de palma, Adoptado de Mba et al., 2015.	14
Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos de las grasas inertes ruminales.....	25
Cuadro 4. Dietas experimentales y la composición química en base seca	29
Cuadro 5. Contenido de cada ingrediente por periodo experimental.....	30
Cuadro 6. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre el consumo y digestibilidad de varias fracciones dietéticas por ovino.....	32
Cuadro 7. Efecto de la suplementación con grasa sobrepasante sobre el consumo y digestibilidad de TUFA, PUFA y MUFA.....	35
Cuadrado 8. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre los ácidos grasos individuales ofrecidos, rechazados, consumido y digestibilidad.	37
Cuadro 9. Efecto de la suplementación con grasa sobrepasante en los componentes sanguíneos de ovinos.	38
Cuadro 10. Efecto de la suplementación con grasa sobrepasante en los componentes sanguíneos de ovinos.	38
Cuadro 11. Valores Normales de Metabolitos Energéticos en Sangre Ovina.....	38
Cuadrado 12. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre parámetros fisiológicos.....	39
Cuadro 13. Valores Normales de parámetros fisiológicos.....	39
Cuadrado 14. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre el consumo de agua....	39

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de la digestión de grasas en el rumen. Adaptado de Lock, A.....	8
Figura 2. Vías bioquímicas para la biohidrogenación de ácidos linoleico y linolénico en el rumen. (Por Bauman et al., 2003, adaptado de Harfoot y Hazlewood, 1997).....	9
Figura 3. Esquema de digestión intestinal de los AG en rumiantes. (Por Bauman y Lock (2006), adaptado por Martínez et al., (2010a).....	11
Figura 4. Balance térmico en el ganado bovino (Arias et al., 2008; adaptado de Meat & Livestock Australia, 2002).	18
Figura 5. Grasa inerte ruminal - Aceite de Palma fraccionado 1 (F1) bajo microscopio electrónico de rastreo 75x	26
Figura 6. Grasa inerte ruminal - Aceite de Palma fraccionado 2 (F2) bajo microscopio electrónico de rastreo 75x.....	27
Figura 7. Grasa inerte ruminal – Ácidos grasos libres (AGL) bajo microscopio electrónico de rastreo 75x.....	28
Figura 8. Efecto de la suplementación con grasa sobrepesante sobre el consumo diario de materia seca en relación al peso vivo de los ovinos.....	31

Lista de abreviaturas

AG	Ácidos Grasos
AGL	Ácidos Grasos Libres
AGNE	Ácido Graso No Esterificado
AGNS	Ácidos Grasos No Saturados
AGS	Ácidos Grasos Saturados
AGV	Acido Graso Volátil
APF	Aceite de Palma Fraccionado
BHB	β -hidroxibutirato
BS	Base Seca
DCPAH	Diagnostic Center for Population and Animal Health
EE	Extracto Etéreo
FDN	Fibra Detergente Neutro
GL	Galactolípidos/ Glicolípido
LMBD	Lipoproteína de muy baja Densidad
LS	Lisolecitinas
MS	Materia Seca
PB	Proteína Bruta
PL	Fosfolípido
PV	Peso Vivo
RC	Ritmo Cardíaco
RF	Relación Insulina: Glucosa
RR	Tasa Respiratoria
RT	Temperatura Corporal
SB	Sales Biliares
TG	Triglicéridos
THI	Índice de Temperatura Humedad
ΔE^-	Pérdida de Calor

Abbreviation List

BW	Body weight
CP	Crude protein
DM	Dry matter
EE	Ether extract
FFA	Free fatty acids
NDF	Neutral detergent fiber
NRC	National Research Council
MUFA	Mono-unsaturated fatty acids
PUFA	Poly-unsaturated fatty acids
TG	Triglyceride
TUFA	Total unsaturated fatty acids

1.0 Introducción

La evaluación de alimentos como parte integral de dietas con alta densidad energética en la nutrición de ganado lechero ha sido el objetivo de varias investigaciones durante los últimos años. Las dietas con alta densidad energética son estrategia de manejo nutricional para tener éxito en la ganadería lechera, y se refleja en una alta producción y eficiencia reproductiva.

La grasa como alimento/nutriente, es una fuente concentrada de energía alimentaria y su fracción lípida es importante, de hecho cierta cantidad mínima es esencial. En animales rumiantes su utilización se ha enfocado en grasas sobrepasantes o inertes que son aquellas que escapan la degradación ruminal.

En dietas para rumiantes, hasta ahora el tipo de suplementos de grasa inerte ruminal estudiada ha sido mayormente ácidos grasos saturados (palmítico C16:0 extraído del aceite de palma y esteárico C18:0) (Rico et al., 2014). Los ácidos grasos saturados libres no sufren ninguna alteración ruminal, ya que al no estar esterificados no sufren el proceso de hidrólisis, para separarse del glicerol como ocurre con los triglicéridos ni otra alteración bacteriana en el rumen y pueden pasar intactos al intestino (Martínez et al., 2010a, b).

Las investigaciones sobre la suplementación de este tipo de grasas utilizando triglicéridos altos en contenido de ácido palmítico, en vez de ácidos grasos libres con una composición parecida son limitadas. Según palabras de Lock et al. (2013) traducidas “Con la excepción de los suplementos de triglicéridos saturados, no hay razón por creer que diferentes suplementos de grasa pueden afectar marcadamente la digestibilidad de los ácidos grasos en general”. Tampoco se ha investigado a fondo los suplementos de grasa comerciales que están compuestos mayormente por ácidos grasos saturados y/o productos fraccionados de la producción de aceite de palma y que están disponibles para su uso (Rico, 2013).

En experimentos recientes (Negrón, M., 2016) utilizando ovinos como animales experimentales determinó los efectos de dos suplementos comerciales de grasa inerte en el rumen, incluidos a 4% de la ración sobre el consumo de nutrientes, digestibilidad y ciertos parámetros sanguíneos. En el experimento mencionado las grasas inertes evaluadas fueron en forma de triglicéridos (Principle™ XF-80; Aceite de palma fraccionado, APF) y de ácidos grasos libres incluyendo >80% ácido palmítico (Palmit 80, AGL). En dicha investigación la adición de las grasas aumentó el contenido de EE en la dieta de 3.1 a 6.9% y resultó en mayor consumo de varios

ácidos grasos en especial el ácido palmítico (C16:0). Las tres dietas no difirieron en digestibilidad de la MS (73.2% promedio), pero el EE de la dieta AGL se mostró más digerible (84.7%) que el del control (73.3%) y de la dieta APF (70.9%). La suplementación con APF resultó en una menor digestibilidad que los otros tratamientos de los ácidos grasos totales (91.2 vs. 73.1%) y los ácidos grasos más abundantes (C16:0, 52.5 vs. 80.7%; C18:1, 91.4 vs 97.9%). El efecto más notable que ejerció la adición de grasa en la composición de la sangre fue aumentar la concentración de ácidos grasos no esterificados (mEq/dL) de 0.14 en el control a 0.17 y 0.24 en los tratamientos APF y AGL respectivamente. La adición de AGL pero no de APF, se asoció a mayor actividad de insulina en la sangre, sin que esto se reflejara en la concentración de glucosa ni de BHB.

Es del interés de compañías productoras de grasas inertes el evaluar su inclusión a niveles menores de 4% de la ración y el evaluar productos de grasas inertes que resultan del fraccionamiento de la producción de aceite de palma. Asimismo, debido al estrés térmico al que están sujetos los rumiantes en producción en el trópico la utilización de grasas inertes ruminales en la dieta representa también una estrategia para reducir el estrés por calor. Con el presente experimento se espera comprobar la hipótesis que la digestibilidad de suplementos de triglicéridos, ácidos grasos o productos fraccionados de la producción de aceite de palma con un perfil similar de ácidos grasos e incluidos a 1.75% de la ración en dietas es similar. Se espera también que la adición de las grasas inertes ruminales en la dieta disminuya el estrés por calor evidenciado por los valores de parámetros fisiológicos (tasa respiratoria, ritmo cardiaco y temperatura rectal) asociados.

2.0 Revisión de literatura

2.1 Grasas y aceites como nutrientes

Los nutrientes son sustancias indispensables para el buen funcionamiento del organismo los cuales se encuentran en los alimentos consumidos por el animal. Las grasas y los aceites son los nutrientes con mayor densidad energética en la dieta (9 mcal/kg) y en organismos son la principal reserva de energía, sin embargo, su nivel de inclusión en la dieta del rumiante no debe pasar de 8% de materia seca (MS) en base seca (BS). Estructuralmente, su unidad básica son los ácidos grasos de cadena saturada o insaturada. Mayormente encontramos los lípidos en los granos en forma de triglicéridos, mientras que en los forrajes se encuentran en forma de galactolípidos.

Los triglicéridos son moléculas compuestas por tres ácidos grasos esterificados a una molécula de glicerol (alcohol de tres carbonos). Los galactolípidos o glicolípidos (GL) son estructuralmente similares a los triglicéridos, son moléculas compuestas por dos ácidos grasos esterificados, una molécula de glicerol pero contienen 1 o 2 azúcares (glucosa o galactosa) (Weatherby, K. & Carter, D., 2013).

2.1.1 Clasificación

2.1.1.1 Lípidos

Los lípidos son un grupo amplio y diverso de compuestos orgánicos naturales formados de carbono, hidrógeno y oxígeno. Los lípidos se relacionan entre sí por su solubilidad en solventes orgánicos no polares y generalmente son hidrofóbicos (moléculas no polares) o anfipáticos (moléculas compuestas por partes hidrofóbicas e hidrofílicas). Dentro de las distintas funciones de los lípidos podemos mencionar tres principales en el cuerpo de un animal: estructural (componentes de las membranas celulares), regulatorio (hormonas) y nutricional (aportan y almacenan mayor valor energético que cualquier otro nutriente, siendo este su propósito principal) (NRC, 2007).

Los rumiantes obtienen los lípidos de sus dietas en forma de grasas o aceites a un porcentaje de inclusión de 1- 8% o son transformados de otros lípidos previamente almacenados en el organismo que a su vez pueden ser transportados por el torrente sanguíneo y ser utilizados en otros tejidos como la glándula mamaria. De estos los más importantes en su dieta son los compuestos de ácidos grasos (AG) esterificados con un glicerol (triglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos) u otro tipo de alcohol. En los análisis que se realizan en los alimentos, los lípidos son extraídos en la fracción conocida como extracto etéreo o grasa bruta (Martínez et al., 2010a).

2.1.1.2 Ácidos grasos

Un ácido graso es una molécula compuesta por una cadena de hidrocarburos (hidrofóbicos) finalizada con un grupo carboxilo (COOH) (hidrofílicos). Estos pueden dividirse en cuatro distintas categorías según el largo de la cantidad de carbonos que posea (cuadro 1). Como primera categoría tenemos los volátiles que son los AG con cadenas de dos a cuatro carbonos. La segunda

categoría son los AG de cadena corta, los cuales se componen de 6 a 10 unidades de carbonos por cadena. La tercera categoría incluye los AG de cadena media con 12 a 16 carbonos por cadena y por último los AG de cadena larga compuestos por más de 16 carbonos (Martínez et al., 2010a). Los AG pueden ser clasificados químicamente de acuerdo a cuatro criterios comenzando con la presencia de dobles enlaces: insaturados o saturados. Cuando hablamos de un ácido graso saturado nos referimos a un AG que no contiene ningún enlace doble, en cambio un ácido graso insaturado contiene algún enlace doble y puede clasificarse según su número de insaturación, ya sea: uno, dos, tres o más (mono-, di-, tri- o poliinsaturaciones respectivamente). Otra manera de clasificación es de acuerdo a la posición del doble enlace relativo al último carbono de la cadena hidrocarbonada como por ejemplo omega 3. Por último se pueden clasificar de acuerdo a su configuración geométrica: cis (ambas partes de la cadena adyacentes al doble enlace están del mismo lado) o trans (ambas partes de la cadena adyacentes al doble enlace están de lados opuestos). Los AG también son clasificados biológicamente o nutricionalmente en 2 clasificaciones: esenciales o no esenciales. Un ácido graso esencial es uno que no puede ser sintetizado por el animal por lo que debe obtenerse en su dieta basal, como el ácido linoleico (18:2) y linolénico (18:3), por el contrario uno no esencial es uno que puede ser sintetizado por los animales como el ácido oleico (18:1) y palmítico (16:0) (Palmquist, 2010; McDonald et al., 2006; Cuvelier et al., 2004).

Cuadro 1. Nomenclatura de ácidos grasos más comunes. (Adaptado de Negrón, 2016)

Esqueleto de carbón	Estructura	Nombre IUPAC	Nombre común
4:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Ácido butanoico	Ácido butírico
6:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Ácido hexanoico	Ácido caproico
8:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	Ácido octanoico	Ácido Caprílico
10:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	Ácido decanoico	Ácido Cáprico
11:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	Ácido undecanoico	Ácido Undecanoico
12:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Ácido decanoico	Ácido Láurico
14:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Ácido tetradecanoico	Ácido Mirístico
14:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido (Z)-tetradec-9-enoico	Ácido Miristoleico
16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Ácido hexadecanoico	Ácido Palmítico
16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido <i>cis</i> -9-Hexadecenoico	Ácido Palmitoleico
17:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{COOH}$	Ácido Heptadecanoato	Ácido Heptadecanoato
18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Ácido octadecanoico	Ácido Estearico
18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido (Z)-octadec-11-enoico	Ácido Oleico
18:1-11C	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	Ácido (E)-octadec-11-enoico	Ácido Vacínico
19:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{COOH}$	Ácido Nonadecanoato	Ácido Nonadecanoato
20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	Ácido Eicosanoico	Ácido Araquídico
18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{COOH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido <i>cis</i> -, <i>cis</i> -, <i>cis</i> -9,12,15-Octadecatrienoico	Ácido Linoleico
18:3	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido <i>cis</i> -, <i>cis</i> -9,12-Octadecatrienoico	Ácido Linolenico
22:6	$\text{CH}_1=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Ácido (4Z,7Z,10Z, 13Z,16Z,19Z)-docosa-4,7,10,13,16,19-hexaenoico	Ácido Docosahexaenoico

2.1.1.3 Triglicéridos

Los triglicéridos (TG) están compuestos por tres moléculas de ácidos grasos esterificados a una molécula de glicerol (alcohol de tres carbonos). Los más comunes que encontramos en la naturaleza en forma de grasas sólidas a temperatura ambiente son los saturados, C16:0 (palmítico) y C18:0 (estearico), por el contrario, los insaturados se encuentran en forma líquida (aceites) a temperatura ambiente (Bergasa, 2007). Los TG en forma de aceites mayormente contienen AG

de 6-10 carbonos y generalmente son de origen vegetal, mientras que los TG en forma de grasas contienen mayormente AG de 10 o más carbonos y son de origen animal (Martínez et al., 2010a). En ambos casos (plantas y animales) su propósito principal es almacenar energía. Como componente en la ración basal de los rumiantes, los TG son hidrolizados en el rumen para así poder liberar sus ácidos grasos y el glicerol, a menos que éste sea extremadamente saturado (Drackley, 2004). En adición a las diferencias en contenido de AG y la ubicación intramolecular de estos, las grasas y aceites difieren en propiedades físicas y químicas tales como contenido de humedad, punto de fusión, índice de yodo y grado de rancidez.

2.1.2 Composición física y química

2.1.2.1 Determinación del contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad en las grasas y los aceites se utiliza el método por destilación el cual consiste en una destilación azeotrópica entre el agua y un solvente no miscible en fase acuosa, de la cual se separa el agua en el destilado y puede ser medida volumétricamente. El sistema de destilación se diseña de tal manera que el alimento, junto con el disolvente elegido, se volatilizan en un matraz, se condensan en un refrigerante y se recogen en un colector. El disolvente se mezcla en el colector con el mismo líquido y el exceso refluye y vuelve al matraz; el agua, al ser más densa, cae en la parte inferior del colector en el que existe un depósito graduado y de forma tubular, pudiendo hacerse la lectura directa de su volumen recogido (Peña, C., 2010). Las grasas y aceites contienen al rededor de 15% - 18% de humedad (British Nutrition Foundation, 2004).

2.1.2.2 Punto de fusión

El punto de fusión es la temperatura donde un compuesto sólido pasa a ser líquido, es decir, se encuentra el equilibrio de fases sólido-líquido. Las grasas y aceites no tienden a tener un punto de fusión específico a diferencia de sustancias puras. El que un TG sea grasa o aceite va a depender de los AG que se unen al glicerol para formarlo. Como antes mencionado, los aceites, que son líquidos a temperatura ambiente, contenían AG de cadenas más cortas que las grasas, sólidas a temperatura ambiente, esto se debe a que al aumentar el número de carbonos resulta en un incremento en el punto de fusión, mientras que un aumento en los dobles enlaces (insaturación) resultará en una disminución del punto de fusión (Drackley, 2004). Para determinar el punto de

fusión se coloca una cantidad adecuada de muestra en un tubo capilar con apertura a un solo lado y se inserta en el aparato determinador de punto de fusión “melting point meter” para que realice la lectura (I.S.I. Handbook of Food Analysis, 1984).

2.1.2.3 Índice de yodo

El valor de yodo de las grasas y aceites se define como la cantidad de gramos de yodo absorbidos por 100g de aceite o grasa utilizando una solución de Wijs y expresa el grado de instauración. La muestra de grasa o aceite es sumergida en tetracloruro de carbono y se trata con un exceso de una solución de mono-cloruro de yodo en ácido acético glacial (solución Wijs). El exceso de mono-cloruro de yodo se trata con yoduro de potasio y el yodo liberado se estima por titulación con una solución de tiosulfato de sodio. (A.O.A.C., 2000)

2.1.2.4 Rancidez (oxidación)

La rancidez es un proceso que provoca un deterioro o alteración de los alimentos con alto contenido de grasas o aceites, esta puede ser causada por oxidación o por hidrólisis. La oxidación es un cambio químico en el cual se transforma un cuerpo o compuesto a causa de la adición de átomos de oxígeno o la pérdida de electrones de alguno de los átomos de otro elemento presente. Existen distintas pruebas para establecer la rancidez de las grasas y aceites como el índice de peróxido, la prueba de Kries y absorción ultra violeta, en adición medición de ácidos grasos libres. El índice de peróxido es la prueba que se encarga de medir el grado de oxidación que sufre un aceite. (Manual of Methods of Analysis of Foods, 2005)

2.2 Metabolismo de lípidos en rumiantes

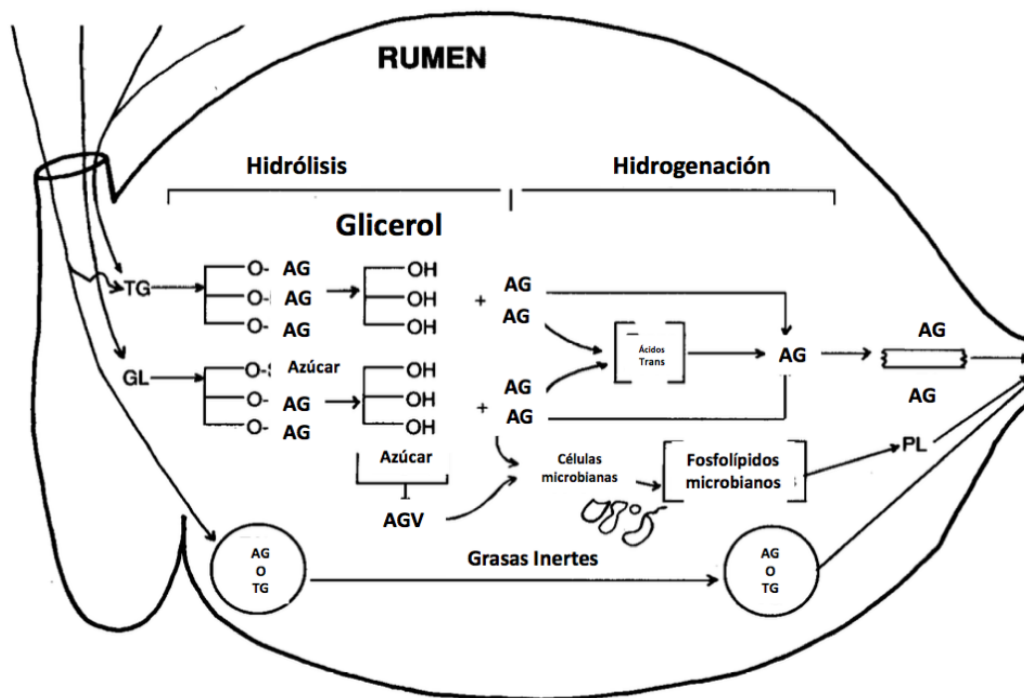
2.2.1 Digestión ruminal

Una vez el rumiante ha ingerido su alimento, los microorganismos del rumen son los encargados de hidrolizar los GL o TG en ácidos grasos y glicerol. Esto ocurre mayormente por la acción de lipasas, galactolipasas y fosfolipasas de origen principalmente bacteriano, pero también pueden ser protozoarios las cuales se encargan de desdoblar los enlaces esterres (Figura 1). La liberación del glicerol da como resultado por medio de su fermentación la formación del ácido propiónico. Este es absorbido a través del epitelio ruminal y transportado por la sangre en la vena portal hasta llegar al hígado donde actúa como sustrato gluconeogénico (Martínez et al.,

2010b)

Como producto de la hidrólisis resultan ácidos grasos libres saturados y no saturados. Los ácidos grasos libres no saturados sufren los procesos de isomerización e hidrogenación o biohidrogenación en el complejo retículo-rumen. Este proceso es necesario ya que los ácidos grasos insaturados son más tóxicos para las células microbianas ruminales que los ácidos grasos saturados, por lo tanto, la biohidrogenación en el ecosistema del rumen es esencialmente un proceso de desintoxicación (Jenkins et al., 2008; Russell, 2002). Este proceso de biohidrogenación resulta tener un efecto negativo de las grasas hacia los microorganismos del rumen y va a depender de que el grupo carboxilo este libre, lo que provoca que la lipólisis pueda convertirse en un factor limitante y como resultado, lo que afecte la lipólisis afectara la biohidrogenación (Bauman et al., 2003). Los ácidos grasos libres saturados van a pasar directo al intestino para ser absorbidos y utilizados en los tejidos corporales con distintas funciones.

Fuente	Suplemento	Forraje	Cereal	Semillas
Tipo de grasa	AGL o TG	GL	TG	TG



Abreviaciones:

GL-Glicolípidos; TG-Triglicéridos; AG- Ácido Graso; AGV- Ácido graso volátil; PL- Fosfolípido; - Ácido graso adjunto a una particular de comida

Figura 1. Esquema de la digestión de grasas en el rumen. Davis, 1990. (Adoptado de Lock et al., 2006)

Existen dos sustratos principales en los alimentos de los rumiantes para el proceso de la biohidrogenación de ácido esteárico (18:0), los ácidos linoleico y linolénico, los cuales se hidrogenan en una proporción de 70 a 95% y 85 a 100% respectivamente en la mayoría de las dietas (Figura 2) (Beam et al., 2000; Doreau y Ferlay, 1994). Estos grandes niveles de hidrogenación se ven negativamente afectados por varios factores como por ejemplo; al ofrecerle al animal dietas con altos niveles de concentrado resulta en un nivel bajo de pH y puede causar una inhibición en la lipólisis (Van Nevel y Demeyer, 1995 y 1996). Cuando hay un exceso de lípidos desprotegidos en la dieta y el tamaño de la partícula dietética también ejercerá un efecto sobre la lipólisis (Sauvant et al., 1999). La absorción de AG de cadena larga en el rumen es casi nula, por lo que no hay explicación exacta de la desaparición de éstos. Existen tres teorías de la inexplicable desaparición; (1) Si aumenta la concentración de ácidos grasos en la dieta podría haber un aumento en la absorción ruminal; (2) células ruminales catabolizan los ácidos grasos a cuerpos cetónicos; (3) las bacterias que están adheridas al epitelio podrían utilizar los ácidos grasos para la degradación oxidativa (Doreau y Chilliard, 1997).

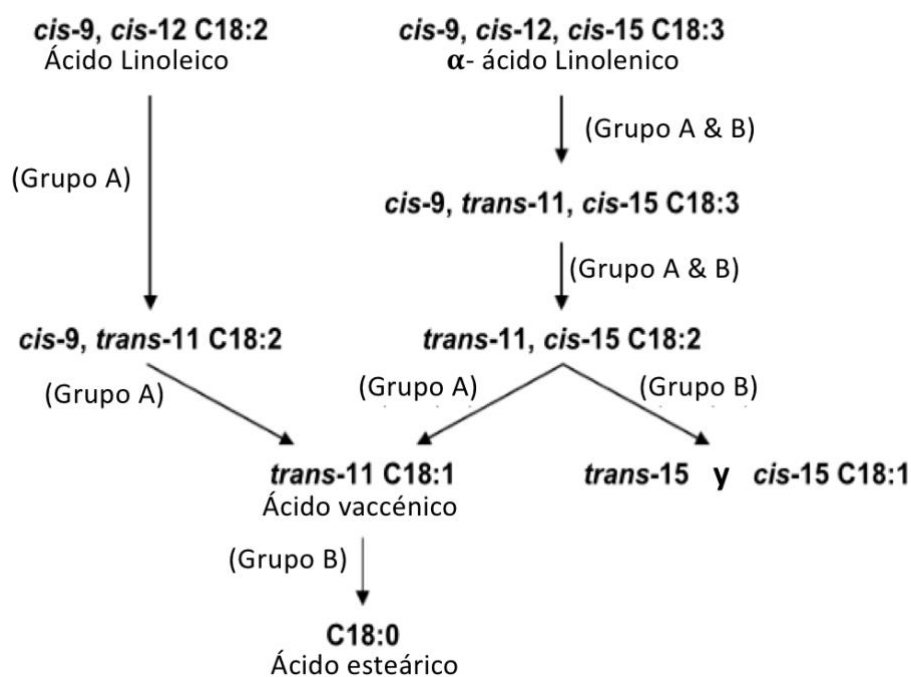


Figura 2. Vías bioquímicas para la biohidrogenación de ácidos linoleico y linolénico en el rumen. (Bauman et al., 2003, adaptado de Harfoot y Hazlewood, 1997).

2.2.2 Digestión y absorción intestinal

La absorción o modificación de los AG de cadena larga y mediana en el omaso y abomaso es prácticamente nula, lo que quiere decir que el material disponible para absorción en el intestino será similar al que salió del rumen (Moore and Christie, 1984). Los lípidos que llegan al intestino se encuentran dentro de las bacterias, en partículas alimenticias y en células endoteliales descamadas, y son mayormente fosfolípidos (10-15%) y ácidos grasos libres (85-90%), predominantemente saturados (80-90%), con aproximadamente dos tercios de ácido esteárico y aproximadamente un tercio de ácido palmítico (Drackley, 2004; Demeyer y Doreau, 1999)(Figura 3). Cualquier triglicérido que entra en el intestino es hidrolizado por lipasa pancreática (Noble, 1978). Los productos de la hidrólisis de las grasas son fundamentalmente AG libres y monoglicéridos cuya absorción ocurre mayormente en la región media y final del yeyuno, sin embargo, para que esto ocurra es necesario la formación de micelas.

Las micelas son discos de dos capas compuesto por sales biliares (secretadas en la bilis desde el hígado hacia el intestino por medio de la vesícula biliar), fosfolípidos y los lípidos insolubles en el centro con capacidad para disolver (solubilizar) los AG insolubles en agua. Este último proceso con el propósito de mover los AG a las células de la mucosa intestinal (enterocitos) donde pueden ser adsorbido por estas (Davis, 1990; Drackley, 2004). La acción de las lisolecitinas hace que la solubilización sea mejor y promueve el paso de los AG a través de la capa acuosa que recubre las microvellosidades del intestino (Bauchart, 1993).

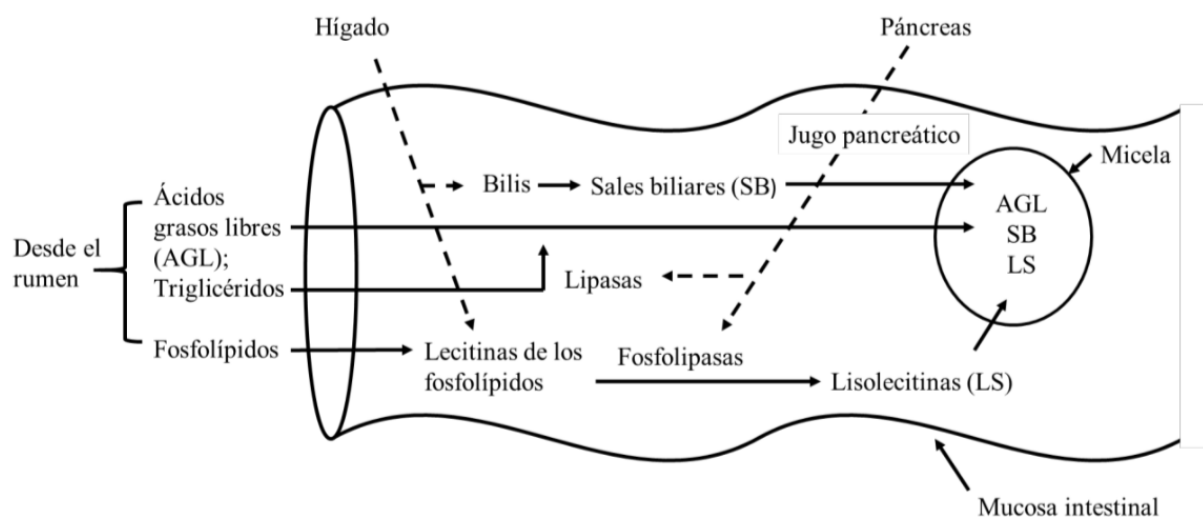


Figura 3. Esquema de digestión intestinal de los AG en rumiantes. (Por Bauman y Lock, 2006)

2.2.3 Transporte y utilización de lípidos

Luego de la absorción de los ácidos grasos en las células intestinales, los ácidos grasos de 12 carbonos o más se reconvierten, en el enterocito, en TG al combinarse con glicerol producido a partir del metabolismo de la glucosa en sangre (Cuvelier et al., 2005). Los TG se empaquetan en partículas de lipoproteínas (quilomicrones o lipoproteínas de muy baja densidad, LMBD) en combinación con colesterol, fosfolípidos y proteínas específicas formando un tipo de proteínas llamadas apoproteínas. Estas últimas se encargan de dirigir el tráfico y el uso de los TG lipoprotéicos. Las apoproteínas poseen un tamaño grande (desde 200 hasta 4,500 amino ácidos aproximadamente) el cual les impide pasar directamente a la corriente sanguínea por lo que son secretadas a la linfa que luego se devuelve a la corriente sanguínea llegando a varios órganos del cuerpo como la glándula mamaria y músculos que puedan utilizar los TG (Drackley, 2004). En cambio, los AG con menos de 12 carbonos en su molécula no se esterifican y pasan directamente a la sangre por la vena porta (Hocquette y Bauchart, 1999).

2.3 Grasas inertes ruminales

Las grasas inertes ruminales o sobrepasantes son aquellas cuyas moléculas no pueden ser degradadas por los microorganismos que habitan el complejo retículo-rumen. Al ser grasas inertes ruminales no son tóxicas para los microbios que se dedican a la digestibilidad de la fibra, por lo

tanto no hay efecto negativo de las grasas hacia los microorganismos. Hoy día estas grasas son muy populares en la alimentación de ganado para leche para aumentar la densidad energética de la dieta y ayudar a dar soporte en la producción de leche y reproducción (Loften et al., 2014). Hay una serie de productos comerciales de grasas sobrepasantes o suplementos de grasa inerte del rumen como las sales de calcio, grasas hidrogenadas de aceite de palma, ácidos grasos de aceite de palma fraccionados (C16), sebo parcialmente hidrogenado y pre mezclas de grasa seca (mezclas de grasas vegetales y / o animales). Para dar la propiedad de ser inerte las grasas son sometidas a una serie de tratamientos químicos y físicos (saponificación con calcio, hidrogenación o saturación parcial para aumentar su punto de fusión sobre los 50°C) con el propósito de evitar que los microorganismos actúen sobre los nutrientes que se desea proteger. Deben tener un punto de fusión mayor de 50°C.

2.3.1 Sales de calcio

El aceite de palma, el aceite de soya u otras fuentes de grasa se hidrolizan y reaccionan con calcio para formar sales, lo que aumenta el punto de fusión del producto final (Solorzano y Kertz, 2005). Su punto de fusión suele ser no menos de 90°C. Además, tienen una solubilidad a un pH inferior a 5.5, un contenido de menos de 84% de materia grasa, una digestibilidad aproximada de 80% y es absorbida en el intestino (Fenzo, 2005). Existe actualmente mucha literatura documentada sobre la utilización de sales de calcio en dietas para rumiantes (He et al., 2018; Gomez et al., 2016; Block et al., 2005).

2.3.2 Grasas hidrogenadas

Las grasas hidrogenadas se convierten inertes en el rumen al incrementar su punto de fusión por medio de la hidrogenación artificial e industrial. El problema con la hidrogenación artificial de las grasas resulta ser que utilizan níquel como catalizador y mientras más necesidad de hidrogenación tiene el aceite o grasa que se utilice como base va a resultar en menos digestibilidad en el intestino. Sin embargo se estima que estas grasas deben tener un 40% aproximadamente de digestibilidad.

2.3.3 Ácidos grasos de aceite de palma

El aceite proviene de la planta de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*). Esta palma solo crece bien en climas tropicales es por esto que todos los países con mayor producción se encuentran en el Sureste Asiático, el África subsahariana y Suramérica (Oil World Annual, 2000). La parte del mesocarpio externo y carnoso del fruto de la palma es lo que se utiliza para su producción (Hartley 1988). El rendimiento de este tipo de aceite si lo comparamos con otros cultivos como el de coco, la oliva, maní y semilla de algodón la palma brinda mayor rendimiento de aceite por unidad de terreno cultivado. La mayor parte de los ácidos grasos son C:16 y tiene un índice de yodo aproximado de 50 como mínimo (Codex Alimentarius Commision, 1999). A diferencia de las grasas hidrogenadas, el aceite de palma tiene la ventaja de ser una grasa hidrogenada naturalmente lo que resulta beneficioso para el animal y con una mayor digestibilidad, 70-75% aproximadamente.

El aceite de palma tiene un amplio número de aplicaciones en los alimentos gracias a su perfil de AG y TG (cuadro 2). Actualmente existen productos industriales basados en aceite de palma para darle un uso en la alimentación de los rumiantes con el objetivo de aumentar la densidad energética de la ración. El procesamiento del aceite de palma comienza en su estado crudo el cual tiene dos fracciones: (1) oleína (fracción líquida con mayor contenido de AG insaturados), que se utiliza para cocinar, freír, fabricar margarinas y mantecas; y (2) estearina (fracción sólida con mayor contenido de AG saturados), que se usa para productos que requieren un mayor contenido de grasas sólidas como mantecas y margarinas más duras y vanaspati (aceites vegetales usados como sustituyentes de mantequilla en la India). Estas dos fracciones difieren en sus propiedades físicas y químicas (Mba et al., 2015).

Cuadro 2. Perfil porcentual de ácidos grasos en el aceite de palma. (Adoptado de Mba et al., 2015)

Ácidos grasos	Rango
Ácido laurico (C12:0)	0.1-1.0
Ácido mirístico (C14:0)	0.9-1.5
Ácido palmítico (C16:0)	41.8-46.8
Ácido palmitoleico (C16:1)	0.1-0.3
Ácido esteárico (C18:0)	4.5-5.1
Ácido oleico (C18:1)	37.3-40.8
Ácido linoleico (C18:2)	9.1-11.0
Ácido linolénico (C18:3)	0.4-0.6
Ácido araquídico (C20:0)	0.2-0.7

2.4 Componentes sanguíneos asociados al metabolismo de lípidos

Los metabolitos que contiene la sangre de un animal son indicadores de su estado nutricional y fisiológico. Entre los componentes sanguíneos asociados al metabolismo energético del rumiante utilizados para diagnosticar el estado fisiológico y nutricional en un rumiante esta la hormona insulina, la glucosa, la relación insulina: glucosa (RF), y la concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE) y el cuerpo cetónico β -hidroxibutirato (BHB).

2.4.1 Insulina

La insulina es una hormona tipo proteico producida y secretada por el páncreas la cual interviene en el metabolismo de los nutrientes (la proteína se degrada en aminoácidos, las grasas en ácidos grasos, y los carbohidratos en glucosa). El mecanismo de la secreción de insulina en rumiantes no se conoce del todo; una hipótesis sugiere que se debe al proceso de gluconeogenesis del propionato en el hígado, el cual genera un estímulo a través del sistema nervioso autónomo para la secreción por el páncreas (Reynolds, 2002; Bloom y Edwards, 1985). Entre sus funciones se encuentra la regulación de las concentraciones de glucosa, amino ácidos, probablemente AGV en la sangre, almacenamiento de reservas energéticas dentro de las células y transporte a tejidos periféricos (Brockman, 1978). Se ha reportado que en la relación de la insulina con el consumo voluntario ocurre una disminución asociada con un aumento en la concentración plasmática de insulina, pero independiente de la concentración plasmática de glucosa (Mackle et al., 1999).

2.4.2 Glucosa

La glucosa es un monosacárido (aldosa) y el principal azúcar en la sangre de un animal. Es de importancia fundamental como fuente de energía dietética. La glucosa tiene un papel muy importante en el mantenimiento, funciones reproductivas, cerebro y otros tejidos como la glándula mamaria en la producción de leche. Los requisitos de glucosa de los rumiantes se satisfacen en gran medida a través de la síntesis de glucosa, que se produce predominantemente en el hígado utilizando precursores de glucosa absorbidos después de la fermentación y la digestión de la dieta (Reynolds, 2005). Es tan esencial que se ha comprobado que una falta en glucosa o bajos niveles de glucosa, hipoglucemia, la cual experimentalmente se produce en cabras y vacas lactantes mediante la administración de insulina, produce una disminución del rendimiento de leche y aumentan los AGNE liberados por la lipólisis que entran en la circulación general (Herdt, 2000; Bertics et al., 1992; McNamara, 1991).

2.4.3 Ácidos grasos no esterificados (AGNE)

Los AG no esterificados son aquellos que se encuentran libremente en muestras biológicas (plasma) y son utilizados mayormente como precursores en la síntesis de la grasa de la leche por la glándula mamaria, o por el hígado para distintos fines (Herdt, 2000; Pethick et al., 1984; Bell, 1980; Palmquist et al., 1969). El hígado utiliza los AGNE para promover fuentes de energía, producir cuerpos cetónicos, síntesis de TG, incorporarse a LMBD para ser transportados hacia el tejido adiposo nuevamente, o ser almacenados como TG (McArt et al., 2013).

En animales rumiantes la capacitación hepática de AGNE desde el plasma sanguíneo ocurre en proporción a su concentración y al flujo de sangre al hígado, mientras que, el flujo sanguíneo es proporcional al consumo de energía metabolizable. Cuando un animal posee un balance de energía negativo su concentración plasmática de AGNE aumenta. Como única excepción a lo antes mencionado tenemos que el aumento de la concentración plasmática de ácidos grasos de cadena larga por el consumo de dietas ricas en grasa se acompaña de un aumento del flujo de sangre al hígado (Emery et al., 1992).

2.4.4 β -hidroxibutirato (BHB)

El BHB es un cuerpo cetónico el cual participa en el metabolismo energético y es utilizado en la formación de ácidos grasos en la grasa de la leche. Es un producto fisiológico de la fermentación de los hidratos de carbono en el rumen, directamente del ácido butírico cuyo metabolismo ocurre especialmente en el epitelio ruminal y en el hígado donde es transformado finalmente. La concentración de BHB aumenta cuando existe una deficiencia de energía ya que representa la movilización de lípidos (Campos et al., 2004).

2.5 Relación entre la adición de grasas en la dieta y factores asociados al estrés térmico.

2.5.1 Estrés Térmico

El término estrés térmico es comúnmente utilizado para indicar una condición ambiental que resulta adversa al bienestar del animal (Scott, 1981). En este caso, en áreas tropicales predomina el estrés térmico o mejor conocido como estrés por calor. Los animales son más productivos dentro de un rango de temperaturas conocido como la zona neutral térmica. Cuando los animales están expuestos a condiciones fuera de la zona neutral térmica (estrés por frío o calor), deben gastar energía para mantener condiciones eutérmicas, esto se debe a que la temperatura corporal es más alta que el rango óptimo específico y la carga de calor total es mayor que la capacidad de disipar calor (Collier et al., 2018, Bernabucci et al. 2010). Las temperaturas a las que ocurre esto se denominan temperaturas críticas superiores e inferiores. El estrés térmico se activa cuando las condiciones ambientales exceden la temperatura crítica superior o inferior de los animales domésticos que requieren un aumento en el metabolismo basal para lidiar con el estrés. Los animales han desarrollado mecanismos de afrontamiento para minimizar el impacto de estos factores de estrés ambiental en sus sistemas biológicos. Estas respuestas son: aclimatación, aclimatación y adaptación. La aclimatación es la respuesta fenotípica coordinada desarrollada por el animal a un factor estresante específico en el ambiente (Fregley, 1996), mientras que la aclimatación se refiere a la respuesta coordinada a varios factores estresantes individuales simultáneamente (Bligh, 1976) y por último la adaptación implica cambios genéticos a medida que los ambientes adversos persisten durante varias generaciones de una especie (Collier et al.,

2018). En adición, los animales domésticos regulan este estrés a través de modificaciones fisiológicas, mayormente cambios en los requerimientos nutricionales, siendo el agua y la energía los más afectados, provocando una reducción en su desempeño productivo (Arias et al., 2008). Se han propuesto tres factores principales para mejorar estos efectos del estrés por calor; modificación física, desarrollo genético y manipulación dietética (Kadzere et al., 2002; Silanikove, 2000).

Existen distintos índices para poder identificar condiciones de estrés como por ejemplo el índice de temperatura-humedad (THI) (Thom, 1959), tasa de respiración (Hahn et al., 1997) y escala de jadeo (Mader et al., 2006; Mader et al., 2005). Este último viene siendo el único índice basado fundamentalmente en el comportamiento de los animales, sin embargo, Brown-Brandl y colaboradores (2005) concluyeron que la tasa de respiración y la escala de jadeo son los más apropiados para monitorear el estrés por calor en el ganado. Otros parámetros fisiológicos como el ritmo cardíaco y la temperatura rectal son también indicadores de un posible estrés térmico. En el caso de los ovinos el mejor índice para identificar que sufren de estrés por calor sería la temperatura corporal ya que no existe índice ni parámetros exactos los cuales nos indiquen que sufren de este fenómeno, sin embargo se sabe que son más resistentes en comparación al ganado bovino.

2.5.1.1 Respuesta de la alimentación al estrés térmico

El estrés por calor reduce el consumo de alimento, la rumia, la absorción de nutrientes y aumenta los requerimientos de mantenimiento (Beede and Collier, 1986). A través de la literatura se destaca una relación inversa entre la temperatura ambiental y el consumo voluntario del alimento. Según Nienaber y colaboradores (2003), el ganado expuesto a cortos periodos de calor disminuye su consumo de MS, especialmente cuando se le está ofreciendo una dieta de alta densidad energética; esta reducción resulta ser la mayor influencia en la disminución de la productividad. La producción de leche y el consumo de MS se ven mayormente influenciados por la temperatura y el THI de días previos (West et al., 2003)

2.5.1.2 Respuesta fisiológica

Las respuestas fisiológicas al estrés calórico mayormente observadas son: el aumento en la tasa de respiración, aumento en las pulsaciones, sudoración y vasodilatación. La

tasa de respiración aumenta con el propósito de aumentar la pérdida de calor (ΔE^-) por las vías respiratorias (figura 4), sin embargo, en condiciones extremas la respiración tiende a ser un poco más lenta y profunda ya que esto resultaría en mayor actividad muscular (McGovern y Bruce, 2000). La tasa de respiración es uno de los principales mecanismos a considerar al momento de evaluar el nivel de estrés por calor en el ganado ya que sigue casi el mismo patrón de la temperatura ambiental (Gaughan et al., 2000).

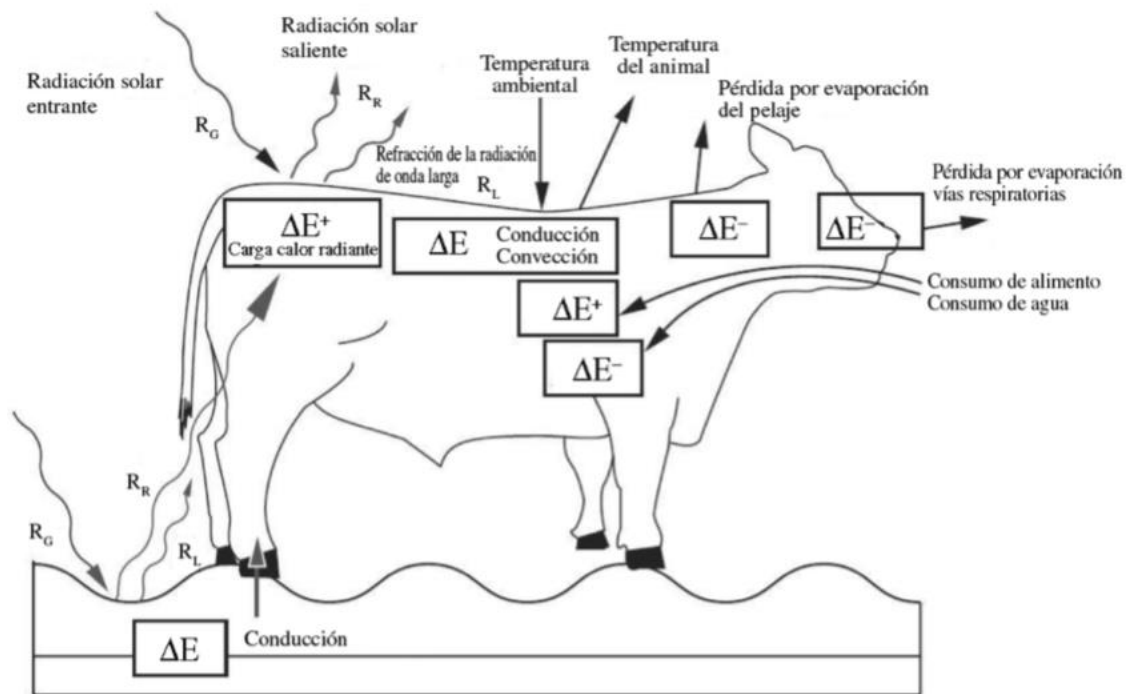


Figura 4. Balance térmico en el ganado bovino (Arias et al., 2008; adaptado de Meat & Livestock Australia, 2002).

2.5.1.3 Respuesta en comportamiento

Como respuesta a condiciones de estrés por calor los animales disminuyen el tiempo dedicado a consumir alimento y su agresividad. Por otra parte, aumentaron el tiempo dedicado al consumo de agua y permanecer de pie cerca de los bebederos (Brown-Brandl et al., 2006)

2.5.2 Suplementación de ácidos grasos

Las estrategias dietéticas para aliviar el déficit energético del que padecen los animales bajo condiciones de estrés calórico incluyen aumentar la densidad energética de la dieta con concentrados o suplementos de grasa (Drackley et al., 2003; Chan et al., 1997; Knapp and Grummer, 1991). Debido a que las dietas con alto contenido de concentrado o aceites con alto contenido de ácidos grasos insaturados puede afectar la salud del rumen influyendo negativamente la función de la membrana plasmática bacteriana, la suplementación de ácidos grasos saturados resulta ser la mejor opción bajo estas condiciones (Maia et al., 2007; Jenkins, 1993). Según Wang et al. (2010) la suplementación de ácidos grasos saturados causó una disminución en la temperatura corporal, aumentó la producción de leche y el contenido y rendimiento de grasa en la leche.

2.6 Una revisión de 100 años: la alimentación con grasa a las vacas lecheras

En publicaciones más recientes se documentó una revisión donde se destacan los cambios más significativos durante los últimos 100 años en el uso de suplementos de grasa (Palmquist and Jenkins, 2017). El desarrollo de métodos de investigación para la fisiología, la nutrición y el metabolismo, han permitido que estudios más específicos definan cómo los vacunos hacen uso de la grasa. Wood en 1894 fue de los primeros en informar sobre los efectos de la suplementación con aceites concluyendo que esta suplementación resultó en un aumento en el porcentaje de grasa en la leche. Posteriormente Jordan en 1897 y 1901 descubrió que la grasa láctea puede producirse de carbohidratos, pero no fue hasta que Fingerling y sus asociados en 1904 y 1907 publicaran datos confirmando lo antes mencionado, en adición a que las grasas en sí mismas se usa más eficientemente que los carbohidratos y que dentro de cierto límites, el porcentaje de grasa en la leche está influenciado por la cantidad de grasa en la ración, no se había logrado un interés general en la suplementación de grasas. Se ha llegado hasta investigaciones sobre los efectos de la grasa suplementada sobre la composición de la grasa de la leche seguido por preguntas sobre la necesidad de las grasas para lograr una producción máxima de leche.

El uso más importante de las grasas ha sido el continuo aumento en el potencial de producción de leche, lo que ha provocado que la vaca requiera cantidades cada vez mayores de energía para obtener la máxima producción de leche. Como resultado, la grasa se incluye en todos los modelos computarizados modernos para formular raciones de lactancia.

La investigación láctea se ha centrado en complementar las grasas para "mejorar la salud" según el perfil de ácidos grasos de la leche o aumentar los "ácidos grasos beneficiosos" (Palmquist et al., 2006) al disminuir los AGS (ácidos grasos saturados) y aumentar la proporción de AGNS (ácidos grasos no saturados), lo cual no siempre resulta beneficioso. German et al., (2009) mostraron que no hay evidencia clara de que el consumo de productos lácteos se asocie consistentemente con un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular. Más reciente aún, Siri-Tarino et al. (2010b) no encontraron evidencia significativa para concluir que la grasa saturada en la dieta se asocia con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Siri-Tarino et al. (2010a) también demostraron que AGS mejora el perfil de partículas de lipoproteínas de baja densidad pequeñas y grandes en comparación con los efectos de los carbohidratos de la dieta. Los componentes de la leche y la leche continuarán siendo objeto de investigación como fuentes de alimentos nutricionales y funcionales, y se espera que disminuya la preocupación por una asociación entre AGS lácteos y la salud.

3.0 Objetivos

Esta investigación fue diseñada para evaluar los efectos de la inclusión de tres grasas inertes ruminales en la dieta de los ovinos. Dos suplementos que consiste de una mezcla de triglicéridos y ácidos grasos libres (F1: 82.15% C:16 ó F2: 84.84% C:16) y otro de ácidos grasos libres (AGL 96.98% C:16). Se determinó los efectos de la adición de las grasas sobre el consumo voluntario, agua, MS, nutrientes y la digestibilidad de una serie de fracciones dietéticas: MS, PB, almidón, FDN, EE. Además, se determinó el efecto de la adición de las grasas a la dieta sobre algunos componentes sanguíneos, algunos ácidos grasos saturados e insaturados y parámetros fisiológicos asociados al estrés por calor.

4.0 Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el proyecto de pequeños rumiantes localizado en los predios de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Se utilizaron doce corderos criollos con un peso vivo (PV) promedio de 25 kg y de ocho meses de edad y previamente esquilados y desparasitados. Los animales se adaptaron a las facilidades físicas y de manejo durante dos semanas antes del periodo experimental. Se alojaron en jaulas individuales de 1.52 x 1.22 x 1.30m

equipadas con comedero de piso doble y un balde para agua. Durante el periodo de adaptación fueron alimentados con heno de alfalfa, un bloque de sal con adición de minerales trazas y agua ad libitum. A cada cordero se le inyectó intramuscularmente un suplemento de vitaminas A, D y E cada tres semanas y se le inspeccionó rutinariamente por posibles problemas de salud.

El experimento tuvo una duración de 84 días divididos en cuatro periodos experimentales de 21 días cada uno, 14 días de adaptación a las dietas experimentales y 7 de recolección de datos. En el estudio fueron comparadas cuatro dietas formuladas para cumplir con las recomendaciones del “National Research Council” (NRC, 2007) para ovinos en crecimiento. La dieta basal proveyó en estado natural 18% PB y fue compuesta en base seca de 50% de heno de alfalfa, 38.35% de granos partidos de maíz y 11.65% de harina de soya. Se evaluaron 3 dietas con grasas inertes ruminales ya sea como mezcla de TG y AGL (triglicérido con ácidos grasos libres) (F1 y F2) o AGL (ácido graso libre) (85% C:16) a 1.75% de inclusión y formuladas con 50% de heno de alfalfa, 36.24% de granos partidos de maíz y 12.01% de harina de soya (Cuadro 5). Las grasas inertes evaluadas F1 y F2, son el resultado de aceite de palma fraccionado mientras que el suplemento AGL es uno de tipo comercial.

El heno de alfalfa, el maíz picado y la harina de soya se adquirieron de suplidores comerciales. Los corderos se asignaron aleatoriamente a seguir distintas secuencias de los tratamientos experimentales en los 4 periodos de un diseño de cuadrado latino 4 x 4 repetido 3 veces. Se asignaron los tres animales de menor PV a un cuadro, los tres próximos menos pesado al segundo cuadro y así sucesivamente hasta formar los tres cuadros, cuyos promedios de PV fueron 19.76, 25.34 y 28.52.

4.1 Animales y dieta

Antes de formular las dietas, se evaluaron muestras de los ingredientes a utilizarse para la determinación del contenido de MS, PB, almidón, EE y FDN a un laboratorio comercial (Dairyland Laboratory Inc, Arcadia, WI). En adición, se cuantificó el contenido de ácidos grasos en cada ingrediente y en las tres grasas inertes ruminales a evaluarse (una grasa comercial (AGL) y dos experimentales, F1 y F2). Las dietas experimentales se mezclaban semanalmente según el PV de los animales. La cantidad de suplemento a ofrecerse fue de 1.75% en cada dieta suplementada con grasa. Los doce corderos se alimentaron diariamente con sus respectivas dietas individuales a las

7:00am a razón de 4% del PV en base seca.

4.2 Consumo voluntario de alimento y agua

Cada periodo del experimento constó de 28 días, de los cuales 21 fueron de adaptación a las respectivas dietas y 7 de recolección de datos comparativos. Se pesaron los corderos al inicio y final de cada periodo y se usó el PV más reciente para determinar la cantidad del ofrecimiento individual de la dieta. Durante los últimos 7 días de cada periodo experimental se cuantificó en cada cordero el alimento ofrecido y rechazado para determinar por diferencia el consumo voluntario. En combinación con el análisis químico se determinó el consumo voluntario de MS, PB, almidón, EE, ácidos grasos totales y FDN. Se determinó también en cada ovino el consumo de agua cada 24 horas durante los 7 días de recolección de datos. El consumo de agua se calculó por diferencia en peso entre el agua ofrecida y la rechazada.

4.3 Determinación de la digestibilidad aparente de MS y otras fracciones

Para determinar las digestibilidades aludidas las heces se colectaron y cuantificaron utilizando bolsas recolectoras durante los últimos 7 días de cada periodo. Se tomó diariamente una alícuota (10% del total recolectado) de cada animal y al final muestras compuestas de heces individuales fueron secadas, molidas y enviadas, junto con muestras del alimento ofrecido y rechazado, al laboratorio antes mencionado, para los análisis químicos en cuestión.

4.4 Componentes sanguíneos

El último día de cada periodo de colectación de datos se tomaron muestras de sangre de cada ovino de la vena yugular, utilizando agujas 20 x 11/2 y tubos Vacitainer™ de plástico, sin aditivo anticoagulante. Cada muestra fue centrifugada en una centrifuga “Eppendorf 5810 R”, a 1,800 rpm durante 20 minutos para colectar el suero sobrenadante. Las muestras de suero fueron congeladas y enviadas a un laboratorio comercial (Diagnostic Center for Population and Animal Health (DCPAH), Michigan State University East Lansing, MI), para su análisis. Los componentes sanguíneos analizados fueron insulina, glucosa, RF, AGNE y BHB.

4.5 Características de las grasas inertes

Para determinar las características de los suplementos de grasa inerte, muestras de estas grasas se enviaron a un laboratorio comercial. Dairyland Laboratory Inc. en Arcadia, WI determinó el por ciento de humedad (por destilación), impurezas insolubles, materia insaponificable, índice de Yodo, ácidos grasos totales, ácidos grasos libres y triglicéridos. También se analizaron las muestras para el contenido de ácidos grasos individuales.

4.6 Micro estructura de la grasa presente en los suplementos fotografiada por microscopio electrónico de rastreo

Para observar la estructura física de las grasas en las tres formas de F1, F2 y FFA bajo estudio se utilizó un microscopio electrónico de rastreo (MER) ubicado en el edificio de Biología de la UPRM. Muestras secas de cada grasa se prepararon para examinarse utilizando cilindros especiales, pegándolas con cinta adhesiva de carbón a los cilindros y bañándolas en oro, según las especificaciones del fabricante. Las fotografías tomadas con el microscopio de rastreo utilizaron una resolución de 75 y 500x.

4.7 Parámetros fisiológicos

Para determinar el efecto de la inclusión dietética de grasas inertes ruminales sobre parámetros fisiológicos asociado al estrés calórico en cada ovino se cuantificaron medidas fisiológicas asociadas al estrés térmico: RR (tasa respiratoria), RT (temperatura corporal) y RC (ritmo cardíaco). El ritmo cardíaco (pul/min) de cada animal fue determinado colocando un estetoscopio entre las costillas detrás del codo. La tasa de respiración (resp/min) fue determinada observando el movimiento del flanco y contando cada ciclo de exhalación e inhalación. La temperatura corporal (°F) se tomó por medio de un termómetro digital vía rectal.

3.8 Análisis estadístico

Los datos de las variables dependientes de consumo de nutrientes y agua, digestibilidades, componentes sanguíneos y parámetros fisiológicos fueron analizados según un diseño

experimental cuadrado latino, 4 por 4, replicado tres veces utilizando el procedimiento Proc Mixed de SAS (2009). Se realizaron tres contrastes para comparar los siguientes tratamientos experimentales: el control versus los tres suplementados con grasa (C vs. F1+F2+AGL) y ambas mezclas de TG con AGL (F1 y F2) por separados versus AGL (F1 vs. AGL; F2 vs. AGL).

El modelo utilizado fue: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$

Y_{ijk} = variable dependiente

μ = media general estimada

α_i = efecto del tratamiento

β_j = efecto del periodo experimental

γ_k = efecto del ovino

ε_{ijk} = error experimental

5.0 Resultados y Discusión

Las fuentes de grasa evaluadas en este experimento difieren en su perfil de ácidos grasos (cuadro 3). La fuente de ácido graso AGL obtuvo menor contenido de TUFA, PUFA y MUFA que F1 y F2. Ácido Laurico/mirístico, esteárico y oleico como porcentaje de ácidos grasos totales también fueron menores en AGL. Sin embargo, el contenido de ácido palmítico fue mayor por 14.83% y 12.14% unidades que en F1 y F2 respectivamente. Bajo el microscopio electrónico de rastreo se observaron diferencias en la superficie estructural y forma de las partículas en las distintas fuentes de grasa. (Figura 5, 6 y 7). F1 apareció en forma de granitos esféricos y lisos mientras que la estructura de F2 y AGL es asimétrica y rugosa. Las partículas de AGL también aparentan ser de mayor tamaño y aparentan tener una superficie compuesta por pequeñas lascas sobrepuestas.

Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos de las grasas inertes ruminales

Componente	F1	F2	AGL
Humedad, %	0.88	0.81	2.66
Materia Seca, %	99.12	99.19	97.34
Ácidos Grasos Totales (AGT), % MS	99.39	99.99	99.99
Ácidos Grasos Totales Insaturados (TUFA), % ¹	13.3	11.26	1.87
Ácidos Grasos Poliinsaturados (PUFA), % ¹	2.03	1.73	0
Ácidos Grasos Monoinsaturados (MUFA), % ¹	11.27	9.53	1.87
Laurico, Mirístico % ¹ (C 12:0, C 14:0)	0.95	0.91	0.81
Acido Palmítico, % ¹ (C 16:0)	82.15	84.84	96.98
Acido Esteárico, % ¹ (C18:0)	3.41	2.85	0.34
Acido Oleico, % ¹ (C18:1)	11.27	9.53	1.61
Acido Linoleico, % ¹ (C18:2)	2.03	1.73	0
Ácido nonadecanoico, Ácido Araquidónico % ¹ (C19:0, C20:0)	0.19	0.15	0

¹% de AGT, Acido Miristoleico, Palmitoleico, Margarico, Linolénico, Eicosanoico y Eicosatrienoico, Eicosapentaenoico, Erucico, Docosahexaenoico, Lignocerico y Nervonico no fueron detectados.

*Análisis de ácido graso se realizaron en el laboratorio Dailyland localizado en Arcadia, WI.

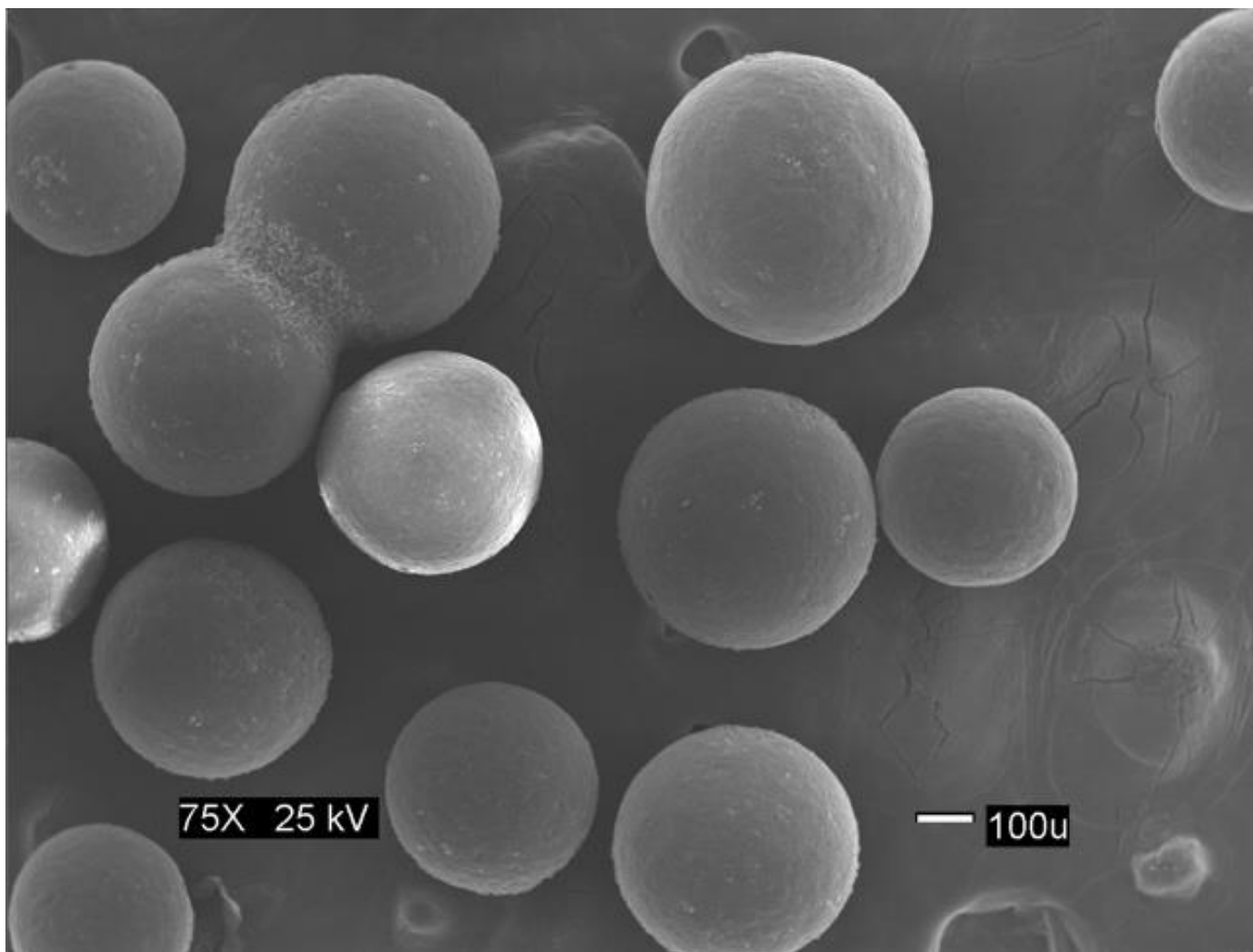


Figura 5. Grasa inerte ruminal - Aceite de Palma fraccionado 1 (F1) bajo microscopio electrónico de rastreo 75x

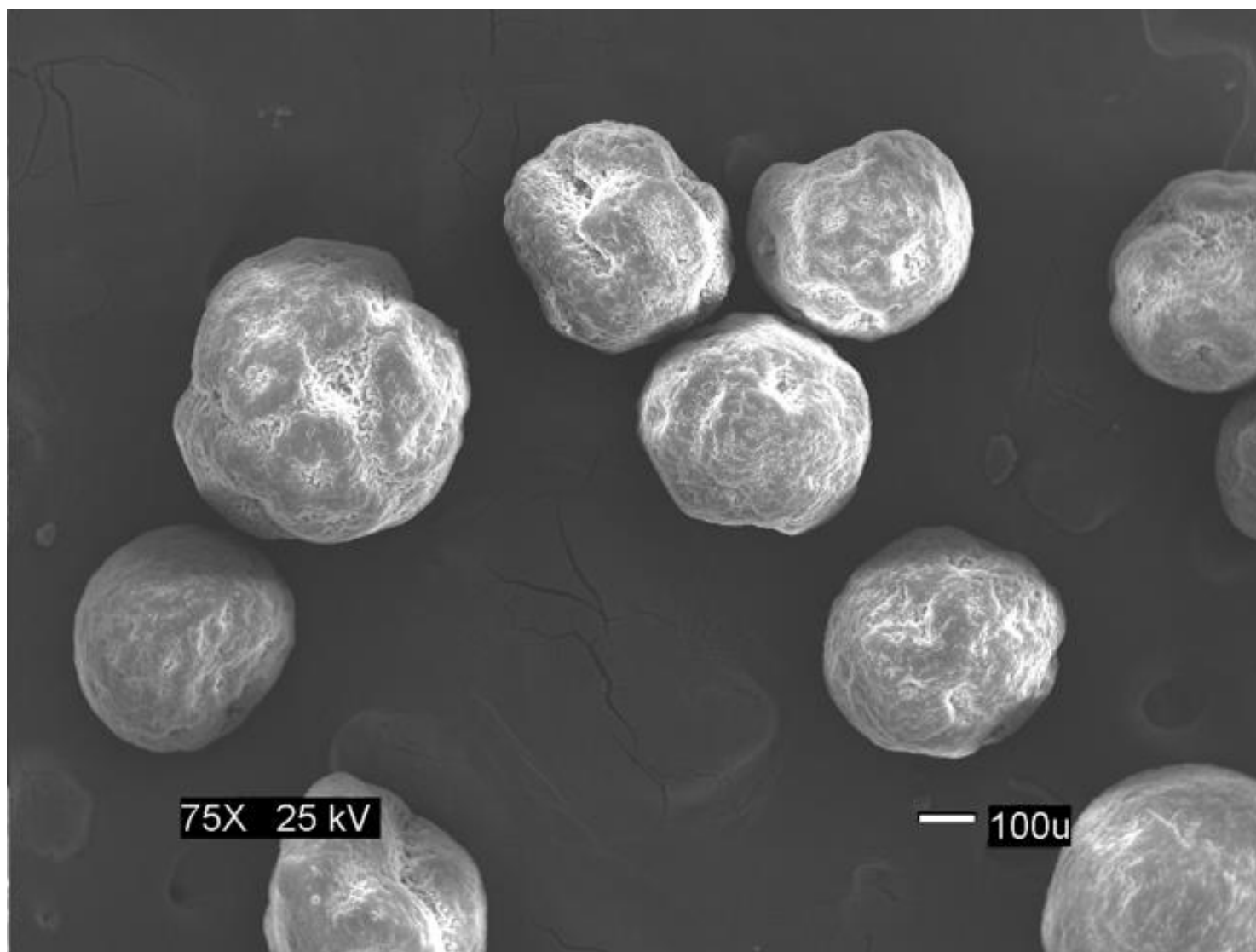


Figura 6. Grasa inerte ruminal - Aceite de Palma fraccionado 2 (F2) bajo microscopio electrónico de rastreo 75x

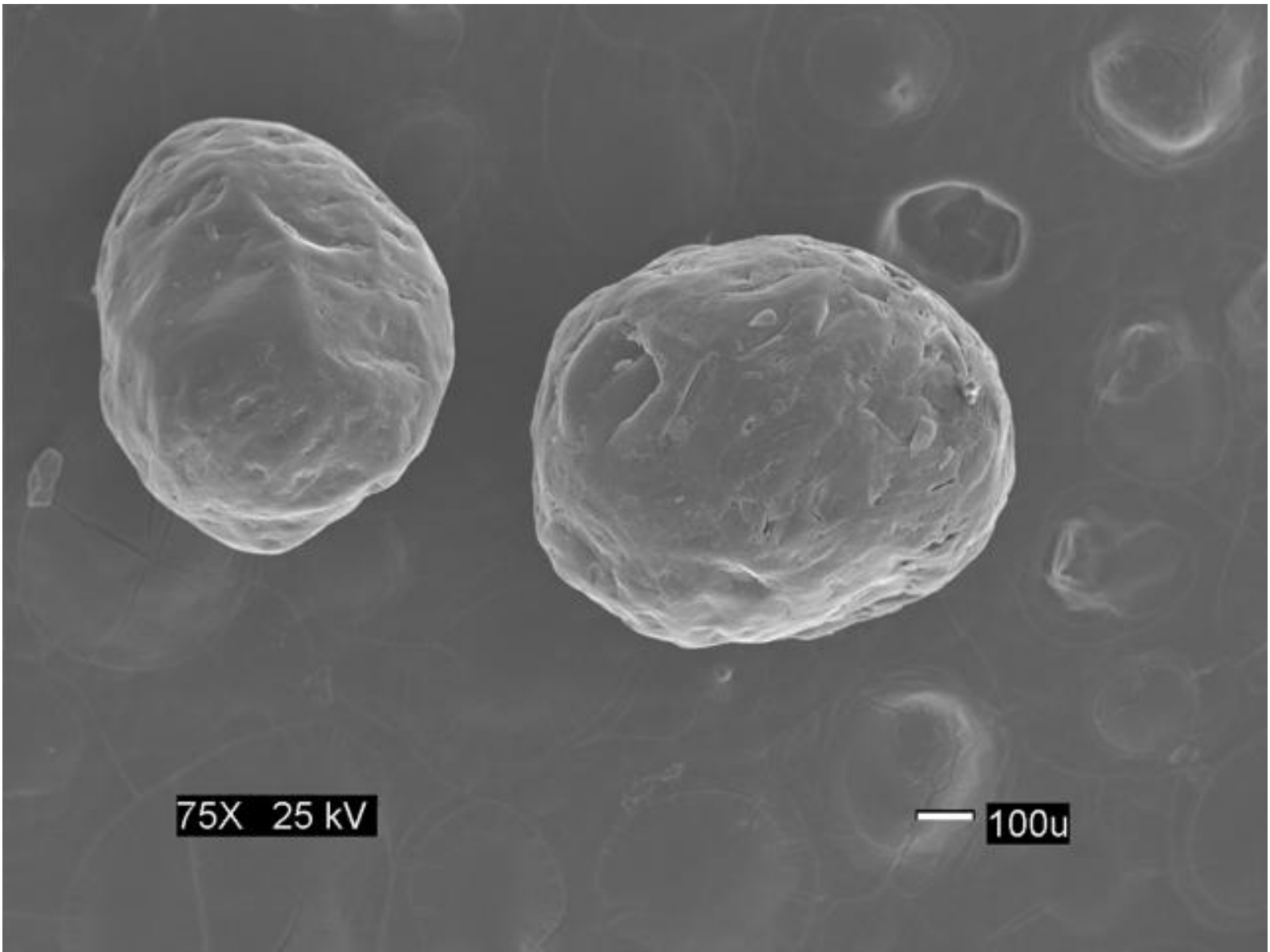


Figura 7. Grasa inerte ruminal – Ácidos grasos libres (AGL) bajo microscopio electrónico de rastreo 75x

Las dietas utilizadas en este experimento contenían en promedio 19.61% PB, 26.35% almidón y 23.44% FDN. La grasa bruta en la dieta control fue de 3.52% y en las dietas que contenían los suplementos F1, F2 y AGL fue de 5.15% (cuadro 4).

Cuadro 4. Dietas experimentales y la composición química en base seca

Ingrediente, (%)	Tratamiento Experimental			
	Control	F1	F2	AGL
Heno de Alfalfa	50.00	50.00	50.00	50.00
Maíz en grano partido	38.35	36.24	36.24	36.24
Harina de Soya	11.65	12.01	12.01	12.01
Grasa Inerte	0.00	1.75	1.75	1.75
Nutrientes Proporcionados % ¹				
PB ²	19.62	19.61	19.61	19.61
Almidón	27.47	25.98	25.98	25.98
FDN ³	23.75	23.61	23.61	23.61
EE ⁴	3.52	5.15	5.15	5.15

¹ Base seca, ² Proteína Bruta, ³ Fibra Detergente Neutro, ⁴ Extracto Etéreo

Se suplemento bloque mineral y vitamina intramuscular A, D, y E

La variación por periodo experimental en contenido de nutriente de los ingredientes basales se muestra en el cuadro 5. El contenido de materia seca, PB, almidón, FDN y EE de los ingredientes utilizados en este experimento fueron relativamente uniformes durante los cuatro periodos experimentales al igual que la proporción de ácido palmítico, ácido oleico y ácidos grasos no saturados (TUFA, MUFA, PUFA) de las fuentes de grasa.

Cuadro 5. Contenido de cada ingrediente por periodo experimental

Componente (%)	Heno de alfalfa				Maíz en grano partido				Harina de soya			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
MS	94.88	95.4	95.01	96.7	92.41	92.35	93.32	94.89	94.62	94.43	94.33	96.33
PB ^{1,2}	22.59	21.56	21.91	15.36	9.13	8.32	9.49	9.12	51.49	53.1	49.43	51.79
Almidón ¹	0.5	0.45	0.78	1.02	68.6	71.81	70.71	66.53	4.02	2.72	6.96	4.19
FDN ^{1,3}	35.82	36.96	36.55	48.01	7.66	8.53	7.55	8.96	8.51	8.1	8.23	8.19
EE ^{1,4}	2.24	2.04	2.36	1.5	5.43	4.44	4.64	6.62	1.43	1.16	1.57	7.98
Proporción de ácidos grasos												
TUFA ^{1,5}	59.7	60.94	58.84	59.53	84.78	84.45	84.26	84.02	78.31	77.27	79.57	77.94
PUFA ^{1,6}	53.22	55.45	49.25	50.01	56.87	56.91	56.65	57.27	61.51	62.13	61.22	61.62
MUFA ^{1,7}	6.48	5.49	9.59	9.52	27.91	27.54	27.61	26.75	16.8	15.14	18.35	16.32
C16:0 ¹	Ácido Palmítico	1.66	1.50	1.23	1.14	0.02	0.02	0.02	0.02	0.003	0.002	0.003
C18:1 ¹	Ácido Oleico	0.36	0.28	0.17	0.15	0.05	0.04	0.04	0.04	0.003	0.002	0.003

¹ Base Seca, ² Proteína Cruda, ³ Fibra Detergente Neutro, ⁴ Extracto Etéreo, ⁵ Ácidos Grasos Totales Insaturados, ⁶ Ácidos Grasos Poliinsaturados,

⁷ Acido Graso Monoinsaturado

Las cantidades diarias de almidón y EE ofrecido en las dietas difirieron entre tratamientos ($P<0.05$) pero MS, PB y FDN ofrecido fue similar (cuadro 6). Sin embargo, las cantidades de MS y nutrientes que no fueron consumidos fue similar entre tratamientos. Lógicamente al añadir la fuente de grasa resultó en un aumento significativo en el consumo de EE. En este experimento los ovinos apetecían las 4 dietas y las comían casi por completo, siendo las respectivas medias para el control, F1, F2 y AGL de 1125.6, 1202.35, 1138.86 y 1222.90 g/d ($P<0.38$). Al expresarse el CMS en relación al peso vivo de los corderos estuvieron entre los estrechos límites de 3.37 a 3.60% (figura 8). No se observó durante el experimento condiciones de salud y ánimo en los animales con posibles implicaciones para la expresión del apetito y actividad ingestiva.

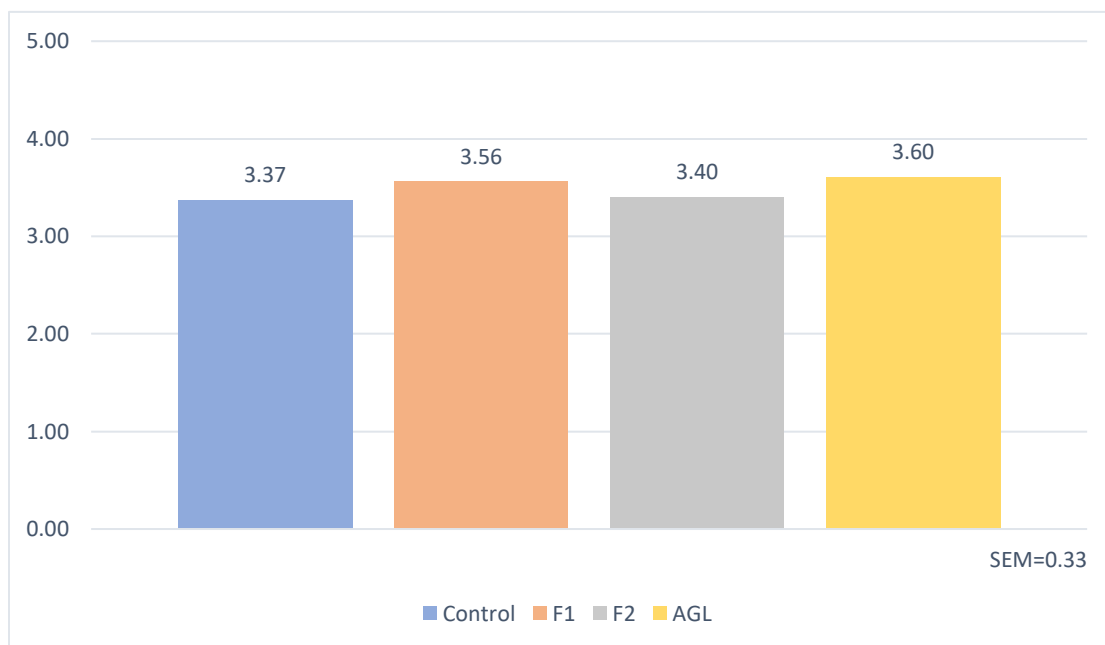


Figura 8. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre el consumo diario de materia seca como porciento en relación al peso vivo de los ovinos.

Cuadro 6. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre el consumo y digestibilidad de varias fracciones dietéticas por ovinos

Componente	Tratamiento Experimental					Probabilidad				
	Control	F1	F2	AGL	SEM	Tratamiento	Periodo	Control vs. F1, F2, AGL	F2 vs. AGL	F1 vs. AGL
<u>Ofrecido, g/d</u>										
MS	1273.33	1277.34	1298.74	1280.2	123.1	0.24	0.01	0.26	0.16	0.11
PB ^{1,2}	247.91	248.14	251.39	249.38	23.79	0.40	0.01	0.35	0.37	0.15
Almidón ¹	350.06	333.66	338.53	334.41	33.14	0.02	0.01	0.01	0.25	0.18
FDN ^{1,3}	306.18	305.09	312.21	304.68	29.23	0.41	0.01	0.78	0.14	0.16
EE ^{1,4}	43.64	65.04	66.46	65.98	5.83	0.01	0.01	0.01	0.29	0.31
<u>Rechazado, g/d</u>										
MS	147.67	74.99	159.88	57.29	53	0.36	0.01	0.37	0.14	0.22
PB ^{1,2}	33.31	16.23	30.43	10.93	11.55	0.35	0.07	0.23	0.18	0.33
Almidón ¹	12.35	5.63	29.67	2.58	11.62	0.37	0.18	0.98	0.1	0.15
FDN ^{1,3}	29.78	13.77	25.63	8.78	0.45	0.26	0.04	0.16	0.16	0.32
EE ^{1,4}	3.88	4.89	9.01	2.43	2.66	0.26	0.07	0.57	0.06	0.23
<u>Consumo, g/d</u>										
MS	1125.66	1202.35	1138.86	1222.9	100.82	0.38	0.01	0.25	0.21	0.34
PB ^{1,2}	214.59	231.91	220.96	238.45	19.71	0.35	0.36	0.18	0.2	0.44
Almidón ¹	337.7	328.03	308.85	331.83	31.92	0.30	0.01	0.25	0.15	0.23
FDN ^{1,3}	276.4	291.32	286.58	295.9	29.56	0.37	0.01	0.11	0.41	0.67
EE ^{1,4}	39.75	60.15	57.44	62.54	2.66	0.01	0.01	0.01	0.11	0.39
<u>Digestibilidad, %</u>										
MS	75.1	76.95	75.94	75.73	0.85	0.30	0.01	0.17	0.82	0.3
PB ^{1,2}	77.61	79.8	79.48	79.27	1.04	0.37	0.01	0.08	0.87	0.81
Almidón ¹	99.71	99.75	99.77	99.75	0.03	0.69	0.52	0.28	0.63	0.67
FDN ^{1,3}	39.2	45.88	43.72	42.69	2.32	0.12	0.01	0.03	0.7	0.43
EE ^{1,4}	81.2	82.56	85.55	85.59	0.92	0.02	0.01	0.05	0.97	0.07

¹ Base Seca, ² Proteína Cruda, ³ Fibra Detergente Neutro, ⁴ Extracto Etéreo

Los coeficientes de digestibilidad de MS, PB y almidón determinados en las 4 dietas experimentales muestran notoria uniformidad al presentar diferencias no mayores de 1.85% para MS, 2.19% para PB y 0.04% para almidón. Llama la atención que los ovino digirieron el almidón ingerido esencialmente por completo. La digestibilidad de FDN en el tratamiento control ($P<0.012$) fue menor 6.68%, 4,52% y 3.49% que en F1, F2 y AGL, respectivamente. Diferencias significativas ($P<0.02$) en la digestibilidad de EE fueron detectadas favoreciendo los tratamientos conteniendo grasas inertes ruminales. La digestibilidad de EE en dietas conteniendo F2 y AGL fue 4.35% y 4.39% mayor que el tratamiento control. Sin embargo, esta diferencia fue de solo 1.36% entre dietas sin grasa inerte ruminal y aquellas conteniendo F1.

A través de todo el periodo experimental se observó un efecto significativo ($P<0.05$) atribuible al periodo, en el ofrecimiento de materia seca y nutrientes. Excepto por el consumo de PB y la digestibilidad de almidón, el periodo también afectó el consumo de MS, almidón, FDN y EE y la digestibilidad de la MS, PB, FDN y EE. Estas diferencias observadas se explican claramente por el aumento en peso de los corderos durante el transcurso del experimento.

La prueba de contraste entre el tratamiento control versus las tres grasas inertes ruminales indican que no hubo diferencia en la MS, PB y FDN ofrecido, no hubo diferencias en los rechazos de la MS y fracciones, y no hubo diferencia en la digestibilidad de la MS, PB y almidón (cuadro 6). Sin embargo, incluir las grasas inertes ruminales a la dieta, disminuyó ($P<0.01$) el ofrecimiento de almidón por 14.52 g/d y aumentó el de extracto etéreo 22 g/d. El aumento en las fracciones de EE en los alimentos con grasas inertes ruminales resultó en un mayor consumo y digestibilidad de esta fracción dietético respecto al control, y una mayor digestibilidad de FDN por 3.36 unidades porcentuales.

No se observaron diferencias ($P<0.05$) entre F2 y AGL en la cantidad de MS y nutrientes ofrecidos, rechazados, consumidos ni en la digestibilidad de estos componentes dietéticos. Una respuesta similar se obtuvo al comparar F1 vs. AGL, excepto que la digestibilidad de EE tendió a ser mayor ($P<0.07$) en la grasa inerte conteniendo ácidos libres que en la grasa de aceite de palma fraccionada por 3.03% (85.59 versus 82.50).

El efecto de la suplementación con grasa inerte del rumen en las cantidades de TUFA, PUFA y MUFA ofrecidas en la dieta, rechazadas y consumidas y los coeficientes de digestibilidad correspondientes se muestran en el cuadro 7. Los contrastes entre control y las tres grasas, F1 vs. FFA y F2 vs. AGL de las mismas variables también se presentaron en el cuadro 7. Se observó un

efecto ($P < 0.01$) atribuido al tratamiento para el ofrecimiento de las tres fracciones de ácidos grasos, para el consumo de MUFA ($P < 0.01$) y para la digestibilidad de los tres componentes dietéticos TUFA, MUFA y PUFA ($P < 0.03$). El contraste de tratamiento específico del control versus F1, F2 y AGL reveló valores más altos ($P < 0.01$) con adición de las grasas para TUFA y MUFA ofrecidos y el consumo de MUFA, pero valores más bajos para la digestibilidad de TUFA y MUFA (Cuadro 7). El contraste de F1 versus AGL mostró una mayor ($P < 0.01$) digestibilidad de TUFA y MUFA a favor de AGL, mientras que el contraste F2 versus AGL mostró ventajas para F2 en TUFA y PUFA ofrecido, pero valores más altos para AGL en MUFA ofrecido, consumido y digestibilidad y una tendencia ($P < 0.06$) en la digestibilidad de TUFA.

A pesar de las diferencias encontradas entre la digestibilidad de TUFA (F1 vs. AGL) y MUFA (F1 vs. AGL y F2 vs. AGL) los valores de estas fracciones dietéticas superan al 90%. Aunque si podemos inferir que la digestibilidad de MUFA disminuye en grasas inertes provenientes del fraccionamiento de aceite de palma (F1 y F2).

Cuadro 7. Efecto de la suplementación con grasa sobre pasante sobre el consumo y digestibilidad de TUFA, PUFA y MUFA

Componente	Tratamiento Experimental					Probabilidad				
	Control	F1	F2	AGL	SEM	Tratamiento	Periodo	Control vs. F1, F2, AGL	F2 vs. AGL	F1 vs. AGL
<u>Ofrecido, g/d</u>										
TUFA ^{1,2}	18.95	21.17	21.16	18.79	1.95	0.01	0.01	0.01	0.01	0.94
PUFA ^{1,3}	13.47	13.48	13.67	13.09	1.3	0.01	0.01	0.6	0.01	0.12
MUFA ^{1,4}	5.48	7.69	7.49	5.72	0.71	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08
<u>Rechazado, g/d</u>										
TUFA ^{1,2}	1.17	0.88	1.94	0.33	3.14	0.24	0.26	0.58	0.08	0.1
PUFA ^{1,3}	0.85	0.47	1.26	0.25	0.41	0.34	0.03	0.69	0.09	0.18
MUFA ^{1,4}	0.32	0.41	0.68	0.07	0.21	0.25	0.03	0.77	5	0.38
<u>Consumido, g/d</u>										
TUFA ^{1,2}	17.78	20.29	19.21	18.46	3.41	0.4	0.26	0.88	0.22	0.1
PUFA ^{1,3}	12.61	13	12.41	12.83	1.16	0.73	0.01	0.77	0.46	0.29
MUFA ^{1,4}	5.17	7.28	6.81	5.64	0.62	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08
<u>Digestibilidad, %</u>										
TUFA ^{1,2}	98.73	97.19	97.73	98.55	0.23	0.01	0.33	0.01	0.06	0.01
PUFA ^{1,3}	99.41	99.35	99.34	99.5	0.04	0.03	0.97	0.81	1	0.94
MUFA ^{1,4}	97.09	93.33	94.80	96.39	0.71	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

¹ Base Seca, ² Ácidos Grasos Totales Insaturados, ³ Ácidos Grasos Poliinsaturados, ⁴ Acido Graso Monoinsaturado

El cuadro 8 presenta la data de siete fracciones de ácidos grasos de los cuales una fracción es una combinación de ácido laurico (C12:0) y mirístico (C14:0) y cinco fracciones representan los ácidos simples de palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) (saturado) y linoleico, oleico y linolénico (todos C18 no saturados) y finalmente la última fracción es la suma de los cuatro ácidos previos individuales (C18 total). El efecto principal del tratamiento fue significativo ($P < 0.01$) en relación con la oferta de ácidos grasos de todas estas fracciones, excepto el ácido linolénico. El tratamiento fue significativo con relación al rechazo de ácido linolénico y con el consumo de todas excepto las fracciones de ácidos linoleico y linolénico. El tratamiento fue también significativo para la digestibilidad de los ácidos linolénico, oleico y C18 total (cuadro 8). El contraste de tratamiento específico de la adición de grasa versus el control reveló efectos positivos ($P < 0.01$) de lo anterior en lo ofrecido de ácidos palmítico, esteárico, oleico y C18 total (Cuadro 8). El otro contraste mostró un mayor ofrecimiento de ácido esteárico con F1 o F2 que con AGL, y de ácidos láurico / mirístico ($P < 0.02$), esteárico, linoleico, oleico y C18 total, pero no ácido palmítico, con F2 que con AGL. La adición de grasa dio como resultado consumos superiores a los del control de ácidos palmítico, esteárico, oleico y C18 total. Tanto F1 como F2 ($P < 0.04$) dieron un mayor consumo de ácido esteárico que AGL; F2 también excedió AGL en el consumo de ácido oleico, mientras que lo inverso ocurrió con ácido palmítico. En cuanto a la digestibilidad, la de ácidos linoleico y oleico ($P < 0.01$) fue mayor en la ausencia de la adición de las grasas suplementarias; AGL dio una mayor digestibilidad de ácido oleico que F1 y / o F2, y valores más altos que F2 para ácidos linoleico y C18 totales. AGL dio una mayor digestibilidad en C18 total ($P < 0.05$) en comparación a todos los tratamiento.

Cuadrado 8. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre los ácidos grasos individuales ofrecidos, rechazados, consumido y digestibilidad.

Componente	Tratamiento Experimental					Probabilidad				
	Control	F1	F2	AGL	SEM	Tratamiento	Periodo	Control vs. F1, F2, AGL	F2 vs. AGL	F1 vs. AGL
<u>Ofrecido, g/d</u>										
Ácido Laurico, Mirístico ¹	ND	0.2	0.2	0.18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.92
Ácido Palmítico ¹	3.97	21.45	22.79	25.58	1.87	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14
Ácido Esteárico ¹	0.61	1.33	1.24	0.68	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ácido Linoleico ¹	11.79	11.82	11.97	11.4	1.14	0.01	0.01	0.54	0.01	0.16
Ácido Oleico ¹	5.29	7.5	7.29	5.46	0.62	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08
Ácido Linolenico ¹	1.65	1.64	1.67	1.66	0.15	0.53	0.01	0.9	0.45	0.14
C18 ¹	19.34	22.28	22.18	19.2	2.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.66
<u>Rechazado, g/d</u>										
Ácido Laurico, Mirístico ¹	ND	0.03	0.03	0.01	0.01	0.06	0.02	0.02	0.15	0.89
Ácido Palmítico ¹	0.51	2.54	3.29	1.44	1.06	0.12	0.01	0.06	0.13	0.53
Ácido Esteárico ¹	0.06	0.12	0.15	0.02	0.04	0.16	0.01	0.49	0.04	0.65
Ácido Linoleico ¹	0.52	0.3	0.98	0.14	0.33	0.33	0.07	0.9	0.08	0.16
Ácido Oleico ¹	0.28	0.38	0.65	0.06	0.20	0.24	0.04	0.71	0.04	0.34
Ácido Linolenico ¹	0.33	0.17	0.28	0.11	0.10	0.01	0.36	0.2	0.22	0.41
C18 ¹	1.19	0.97	2.06	0.34	0.64	0.32	0.03	0.92	0.06	0.24
<u>Consumido, g/d</u>										
Ácido Laurico, Mirístico ¹	ND	0.18	0.17	0.17	0.01	0.01	0.29	0.01	0.74	0.68
Ácido Palmítico ¹	3.46	18.91	19.5	24.15	1.26	0.01	0.29	0.01	0.01	0.6
Ácido Esteárico ¹	0.55	1.21	1.1	0.65	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01	0.04
Ácido Linoleico ¹	11.27	11.52	10.99	11.27	1.05	0.72	0.01	0.97	0.54	0.25
Ácido Oleico ¹	5.01	7.12	6.64	5.39	0.54	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07
Ácido Linolenico ¹	1.31	1.47	1.39	1.54	0.13	0.43	0.01	0.21	0.28	0.57
C18 ¹	18.15	21.31	20.12	18.86	1.77	0.01	0.01	0.01	0.15	0.17
<u>Digestibilidad, %</u>										
Ácido Laurico, Mirístico ¹	ND	65.2	76.36	69.68	5.46	0.26	0.37	ND	ND	0.33
Ácido Palmítico ¹	56.61	67.42	72.44	61.92	10.07	0.69	0.13	0.35	0.45	0.72
Ácido Esteárico ¹	38.15	19.59	21.32	19.18	14.11	0.72	0.05	0.26	0.88	0.9
Ácido Linoleico ¹	99.61	99.42	99.5	99.6	0.03	0.01	0.66	0.01	0.03	0.07
Ácido Oleico ¹	97.07	93.2	94.67	96.23	0.56	0.01	0.69	0.01	0.01	0.02
Ácido Linolenico ¹	98.93	98.67	99.05	98.78	0.28	0.79	0.10	0.77	0.51	0.35
C18 ¹	95.67	92.81	93.54	95.82	1.14	0.01	0.17	0.05	0.03	0.47

¹ Base Seca

Los metabolitos sanguíneos analizados en este experimento mostraron valores que están de acuerdo con los típicos que corresponden a corderos sanos (Duygu Udum et al., 2008; Wittwer, 2006) (cuadro 11). La adición de tres fuentes diferentes de grasas ruminalmente inertes a la dieta en el nivel de 1.75% BS no afectó la concentración de insulina, glucosa, NEFA y BHB en la sangre de los corderos (Cuadro 9 y 10). Si se observó efecto del periodo sobre los componentes sanguíneos de los ovinos, lo que podría estar asociado a la diferencia en peso.

Cuadro 9. Efecto de la suplementación con grasa sobrepasante en los componentes sanguíneos de ovinos.

Componente	Tratamiento Experimental			
	Control	F1	F2	FFA
Insulina, pmol/dL	10.8	10.42	9.95	9.88
Glucosa, mmol/L	4.31	4.46	4.33	4.25
RF ¹	0.13	0.13	0.12	0.13
AGNE, mEq/dL	0.22	0.29	0.22	0.23
BHB, mg/dL	6.44	6.05	6.39	6.35

¹Proporción de Insulina:Glucosa

Cuadro 10. Efecto de la suplementación con grasa sobrepasante en los componentes sanguíneos de ovinos.

Componente	SEM	Tratamiento	Periodo	Probabilidad		
				Control vs. F1, F2, FFA	F2 vs. FFA	FFA vs. F1
Insulina, pmol/dL	0.91	0.88	0.01	0.5	0.95	0.72
Glucosa, mmol/L	2.09	0.34	0.11	0.72	0.49	0.27
RF ¹	0.01	0.96	0.01	0.66	0.79	0.79
AGNE, mEq/dL	0.04	0.54	0.10	0.55	0.83	0.22
BHB, mg/dL	0.31	0.78	0.01	0.6	0.92	0.41

¹Proporción de Insulina:Glucosa

Cuadro 11. Valores Normales de Metabolitos Energeticos en Sangre Ovina

Metabolitos	Valor Normal	Referencia
Glucosa	2.4 - 2.2 mmol/L	Wittwer, 2006
BHB	2.08 - 6.25 mg/dL	Wittwer, 2006
AGNE	<0.6769 mEq/L	Wittwer, 2006
Insulina	16.67 - 250 pmol/L	Duygu Udum et al., 2008

Cuadrado 12. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre parámetros fisiológicos

Componente	Tratamientos Experimentales					Probabilidad				
	Control	F1	F2	AGL	SEM	Tratamiento	Periodo	Control vs. F1, F2, AGL	F2 vs. AGL	F1 vs. AGL
Ritmo cardiaco (lat/min)	109.20	108.03	109.61	110.28	2.57	0.82	0.06	0.96	0.79	0.3601
Tasa respiratoria (resp/min)	73.91	71.08	78.58	69.41	3.79	0.06	0.00	0.75	0.01	0.63
Temperatura corporal (°C)	39.36	39.43	39.42	39.42	0.11	0.64	0.04	0.21	1.00	0.88

Cuadro 13. Valores normales de parámetros fisiológicos

Componente	Rango	Promedio
Ritmo cardiaco (pul/min)	70 - 90	75
Tasa respiratorio (resp/min)	10 - 20	20
Temperatura corporal (°C)	38 - 39	38.5

Sheep production handbook, 2002.

Cuadrado 14. Efecto de la suplementación con grasa inerte sobre el consumo de agua

Componente	Tratamientos Experimentales					Probabilidad				
	Control	F1	F2	AGL	SEM	Tratamiento	Periodo	Control vs. F1, F2, AGL	F2 vs. AGL	F1 vs. AGL
Consumo de agua (L/D)	4.46	4.85	4.27	4.31	0.36	0.35	0.06	0.96	0.91	0.11
CA/PV	14.67	15.62	13.73	13.86	1.23	0.29	0.01	0.76	0.90	0.09
Relación CA/CMS	4.16	4.10	3.88	3.59	0.35	0.33	0.03	0.27	0.39	0.52

La adición en la dieta de grasas inertes ruminales es también una estrategia para reducir el estrés por calor en animales domésticos. El ritmo cardiaco promedio 109.28 lat/min y la tasa respiratoria 73.24 res/min de los corderos (cuadro 12) fue mayor a los valores normales reportados en ovinos (cuadro 13). La adición de las grasas inertes no alteró los parámetros fisiológicos. Solamente se observó una menor tasa respiratoria en ovinos con AGL en la dieta que en aquellos con F2, pero en ambos casos con valores superiores al rango normal. A pesar de sobrepasar los valores normales, esto no es evidencia de que los ovino estuvieron en estrés por calor.

El utilizar grasas inertes en la dieta tampoco afectó el consumo de agua, el consumo de agua con relación al peso vivo animal ni la relación consumo de agua consumo de MS, aunque si se observaron menor valores en corderos con AGL en la dieta (cuadro 14).

Los suplementos de grasa se utilizan en las dietas de rumiantes para aumentar la densidad de energía y ayudar a la absorción de nutrientes solubles en grasa (NRC, 2007). Sin embargo, la suplementación de grasas inadecuada también puede tener efectos negativos sobre la producción de rumiantes. Los altos niveles de adición de grasa pueden ser perjudiciales para la ingesta de materia seca, las poblaciones de microbios ruminales y el metabolismo, y también pueden exceder la capacidad del intestino delgado para digerir y absorber ácidos grasos (Coppcock y Wilks, 1991). El equilibrio entre los efectos positivos y negativos de la adición de grasa en la producción de rumiantes puede depender del nivel de alimentación y la fuente y la forma química del suplemento. Las fuentes de grasa difieren en el nivel de saturación, las proporciones de ácidos grasos individuales y el grado en que la grasa está protegida de la digestión en el rumen (Allen, 2000; Coppcock y Wilks, 1991). El metabolismo de las grasas en animales rumiantes es un proceso muy complejo que involucra la digestión ruminal y postgástrica, en la que el metabolismo ruminal de los lípidos de la dieta tiene un gran impacto en el perfil de los ácidos grasos que están disponibles para absorción y utilización del tejido. Las dos principales reacciones químicas que se producen son la hidrólisis de los enlaces éster en los lípidos y la biohidrogenación de los enlaces dobles o triples de los ácidos grasos insaturados. La hidrólisis de los lípidos de la dieta se debe principalmente a la actividad de las bacterias del rumen, y aunque el grado de hidrólisis es generalmente alto (> 85%), se han identificado varios factores que afectan la velocidad y el grado de hidrólisis. Por lo tanto, la selección adecuada del suplemento de grasa a usar es importante para maximizar los beneficios para la nutrición de los rumiantes. Un suplemento de grasa ideal debería maximizar el consumo de alimento y la digestión de la fibra ruminal, mantener o aumentar el contenido de componentes de la leche y mejorar la salud

animal y la eficiencia reproductiva. Además, el suplemento de grasa seleccionado debe ser digerible en el intestino delgado, fácil de usar y costo efectivo. La literatura consultada indica que las fuentes de grasa de origen animal (i.e. sebo) son las principales fuentes de lípidos que se han evaluado en las dietas de rumiantes. Sin embargo, la evaluación de fuentes vegetales ruminalmente inertes (i.e., aceite de palma), con diferentes grados de saturación y diferentes formas químicas ha sido objeto de investigaciones recientes. Una grasa inerte ruminal ofrece la ventaja de no perturbar la fermentación ruminal normal, sin embargo, la forma de la grasa (triglicéridos vs. ácido graso libre) que ingresa al intestino puede influir en su digestibilidad, con AGL siendo más digestible que TG (Doreau y Chillard, 1997).

Souza et al. (2017), evaluaron los efectos del tamaño de la partícula de suplementos de grasa altos en ácido palmítico sobre el consumo y digestibilidad de nutrientes y respuestas de producción en ganado lechero. Se evaluaron tres tamaños de partículas de grasa, pequeños ($284 \pm 12.4 \mu\text{m}$), medianos ($325 \pm 14.7 \mu\text{m}$) y grandes ($600 \pm 17.4 \mu\text{m}$). El tamaño de partículas de las grasas no tuvo efecto en el consumo de MS, rendimiento y componentes de la leche, o la eficiencia de utilización de alimento. Sin embargo, las partículas grandes tendieron a aumentar el contenido de grasa en la leche en comparación con las pequeñas (4.28 vs. 4.22%), y aumento de la digestibilidad de C16 en comparación con las medianas (74.2 vs. 71.0%) y pequeñas (74.2 vs. 71.7%). Además, las partículas grandes aumentaron la digestibilidad total de los ácidos grasos en comparación con las medianas (78.1 vs. 75.6%) y pequeñas (78.1 vs. 76.0%). La reducción del tamaño de partícula disminuyó la digestibilidad de los ácidos grasos, pero no tuvo ningún efecto sobre el rendimiento del animal en las condiciones dietéticas y el tamaño de las partículas evaluadas.

En un experimento previo, se evaluaron dos suplementos de dieta ruminalmente inertes obtenidos de aceite de palma fraccionado como triglicéridos (APF) o AGL cuando se incluyeron al 4% de la dieta con respecto a la ingesta de nutrientes y la digestibilidad y los parámetros sanguíneos en corderos (Negrón, 2016). Se encontró que la forma química del suplemento graso tuvo efectos sobre la utilización de nutrientes y el posterior metabolismo energético en corderos en crecimiento. En ese experimento, la adición de 4% grasa inerte elevó el contenido de EE en la dieta de 3.1 a 6.9% y resultó en mayor consumo de varios ácidos grasos en especial el ácido palmítico (C16:0). Las tres dietas no difirieron en digestibilidad de la MS (73.2% promedio), pero el EE de la dieta AGL se mostro mas digerible (84.7%) que el control (73.3%) y de la dieta APF (70.9%). La suplementación

con APF resultó en una menor digestibilidad que los otros tratamientos de los AGT (91.2 vs. 73.1%) y los AG mas abundantes (C16:0, 52.5 vs. 80.7%; C18:1, 91.4 vs. 97.9%). El efecto más notable que ejerció la adición de grasa en la composición de la sangre fue aumentar la concentración de AGNE (mEq/dl) de 0.14 en el control a 0.17 y 0.24 en los tratamientos APF y AGL respectivamente. La adición de AGL pero no de APF, se asoció a mayor actividad de insulina en la sangre, sin que esto se reflejara en la concentración de glucosa ni de BHB.

Los presentes resultados mostraron diferencias en el consumo de almidón y EE y ácidos grasos individuales como se determinó previamente. La inclusión de F1, F2 o AGL no afectó la digestibilidad de la MS, PB o almidón, pero mejoró la de NDF y EE. Esto representa evidencia que apoya el concepto de inercia ruminal en los suplementos de grasa. Entre las fuentes de grasas, hubo una tendencia hacia una mayor digestibilidad de EE de AGL en comparación con F1.

La digestibilidad de los ácidos grasos individual está influenciada por el consumo de MS, consumo de grasa y las características de la grasa tanto en la dieta basal como en el suplemento de grasa. En el caso presente, una fuente de grasa en forma de ácidos grasos libres (AGL) dió como resultado una mayor digestibilidad de TUFA y MUFA que los productos de aceite de palma fraccionados (F1 y F2). El consumo de ácido palmítico también fue mayor en la dieta AGL. Aunque no se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos en la digestibilidad de C16: 0, la adición de fuentes de grasa a la dieta aumentó su digestibilidad en un promedio de 10.61% unidades en comparación con el control. Entre las fuentes de grasa, la digestibilidad del ácido palmítico fue numéricamente mayor en el aceite de palma fraccionado que en AGL. Del mismo modo, no se detectaron diferencias entre los tratamientos en la digestibilidad de C18: 0, y la adición de fuentes de grasa a la dieta disminuyó su digestibilidad en un promedio de 18.12% unidades por debajo de la del control. También se observaron diferencias leves en la digestibilidad de los ácidos grasos insaturados (i.e., ácidos oleico y linoleico) entre las fuentes de grasa.

Experimentos previos han informado que la digestibilidad de EE y AG específicos podría estar influenciada por las concentraciones de ciertos componentes sanguíneos relacionados con el metabolismo de las grasas. Por ejemplo, ¿cómo la hidrólisis de TG antes de la deposición de AG en los adipocitos es afectada por la alimentación con grasa?. Sin embargo, en este experimento, la suplementación de grasa no afectó a los componentes sanguíneos en relación con el control, y los niveles séricos de estos componentes estuvieron dentro de los límites normales para las ovejas (Duygu Udum et al, 2008; Wittwer, 2006). En experimentos relacionados, Weiss et al. (2011)

informaron que la digestibilidad de la MS, la MO y la energía eran similares al comparar un suplemento de AG saturado o un jabón Ca de AG con un TG derivado de aceite de palma en dietas para vacas lecheras. Wu et al (1999) encontraron que los suplementos lipídicos como sebo y dos productos basados en grasa comercial disminuyeron la digestibilidad total de C16 de 84.3% en la dieta de control a 83.4, 78.8 y 80.4% para sebo y los productos comerciales, respectivamente. Elliot et al. (1999) también informaron que la digestibilidad de los ácidos C16 totales disminuyó de 72.3% para la dieta de control a 72.1, 67.0 y 61.2% para las dietas que contienen dos productos comerciales o destilados de grasa hidrogenada, grasa prensada, respectivamente. En una serie de tres experimentos con ovejas, Conner (2007) evaluó la digestibilidad comparativa del tracto total de los ácidos palmítico y estérico y observó una disminución de la digestibilidad con una mayor ingesta de AG saturados en la dieta. Conner (2007) indicó que al alimentar una mezcla de 35% de TG + 65% de AGL de aceite de palma, la digestibilidad del AGT disminuyó en comparación con la de un suplemento de AGL de origen de sebo, pero no difirió de la digestibilidad de AGT de un suplemento de origen de aceite de palma 100% AGL. Esto sugiere que la fuente de AG (animal vs. vegetal) o la composición de AG del suplemento puede influir en la digestibilidad de AG.

Los presentes resultados apoyan la generalización hecha por Lock et al. (2006) de que los suplementos de AGL saturados o sus fracciones pueden diferir en la digestibilidad general de nutrientes y ácidos grasos. En el presente experimento, tres suplementos de grasa ruminalmente inertes, en forma de ácidos grasos libres o fraccionados compuestos principalmente de ácido palmítico, mostraron diferencias significativas en la digestibilidad de EE, FDN y ácidos grasos individuales, y ácidos grasos totales insaturados y monoinsaturados.

Los presentes resultados también indican que adicionar grasas inertes ruminales en la dieta a un nivel de inclusión de 1.75% no alteró los parámetros fisiológicos asociados al estrés por calor ni el consumo de agua en corderos. En estudios relacionados, Maurya et al., (2018) evaluaron los efectos acumulativos del estrés por calor, estrés nutricional y combinado (calor y nutrición) sobre la adaptabilidad fisiológica, las respuestas bioquímicas y endocrinas de la sangre en los ovinos de Malpura. Encontraron que los ovinos bajo estrés por calor (42°C y 55% humedad) resultaron tener un mayor RR y RT lo cual se puede deber a un mecanismo para contrarrestar el estrés térmico efectivamente por mecanismo de enfriamiento por evaporación respiratoria. El estrés combinado influyó significativamente en todos los parámetros adaptativos estudiados, sin embargo, el

estudio muestra que los ovinos de Malpura tienen la capacidad de adaptación a dos tipos de estrés (calórico y nutricional) simultáneamente ya que no se obtuvo diferencia significativa en RR, RT, la tasa de sudoración del escroto y la piel y la concentración de haemoglobina entre los grupos de estrés por calor y estrés combinado. En estudios relacionados en bovinos, Akhlaghi et al., (2017) compararon la suplementación de dos grasas: aceite de palma alto en ácido palmítico y sales de calcio de AG insaturados a un 2.8% en BS de la dieta para ganado lechero bajo estrés térmico y encontraron que la suplementación con grasa no afectó el rendimiento de producción de vacas de mediana producción sometidas a estrés por calor, pero el suplemento de aceite de palma aumentó la producción de leche y grasa de leche en vacas de alto rendimiento. Otros estudios existentes informan resultados contradictorios sobre el efecto de la adición de grasa sobre pasante en condiciones de estrés térmico. Algunos estudios mostraron un efecto beneficioso para los rumiantes bajo estrés por calor (O'Kelly, 1987; Jennings-Croci, 2002) y otras investigaciones revelaron ineficiencia (Knapp y Grummer 1991; Bunting et al., 1996) o efectos perjudiciales (Huber et al., 1994; Gaughan y Mader 2009).

6.0 Conclusiones

La adición de 1.75% de grasas inerte aumentó el nivel de EE en la dieta de 3.52% a 5.15% y el de ácido palmítico mientras que el almidón disminuyó de 27.47% a 25.98%, en adición, aumentó el contenido del ácido palmítico (C16:0).

El contenido de almidón en la dieta disminuyó de 27.47 a 25.98% con la adición de las grasas inertes.

Fotografías tomadas bajo MER demostraron que las grasas muestran diferencias en la estructura física y su superficie.

La inclusión de grasas inertes no afectó el consumo de nutrientes, a menos que fuera pre determinado.

Los suplementos de grasa no afectaron la digestibilidad de la DM, PB o la digestibilidad del almidón, sin embargo, la digestibilidad de la FDN y la EE aumentó con la alimentación de suplementos de grasa. Estos efectos sobre la digestibilidad de los nutrientes apoyan el concepto de inercia ruminal de los suplementos de grasa.

Hubo una tendencia a que AGL tuvieran una mayor digestibilidad de EE en comparación con F1.

La digestibilidad de TUFA y MUFA fue mayor en el tratamiento control que en aquellos conteniendo grasas inertes.

La digestibilidad de TUFA y MUFA varió entre las tres grasas pero la de PUFA fue similar.

La digestibilidad de ácido linoleico, oleico y ácidos grasos C18 fue mayor en el grupo control que en aquellos con las grasas inertes.

La digestibilidad de ácido linoleico, oleico y AG C18 fue mayor en AGL que en F2.

La digestibilidad de ácido linoleico y ácido oleico fue mayor en AGL que en F1.

Dentro de lo componentes sanguíneos estudiados no se observó diferencia significativa entre tratamientos.

La adición de grasas no afectó el consumo de agua y los parámetros fisiológicos asociados al estrés por calor.

Literatura Citada

- Akhlaghi, B., Ghorbani, G., Kargar, S., Alikhani, M., Sadeghi-Sefidmazgi, A. (2017). Effect of production level and source of fat supplement on production performance, nutrient digestibility and blood parameters of heat-stressed primiparous Holstein cows. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/319644135_Effect_of_production_level_and_source_of_fat_supplement_on_production_performance_nutrient_digestibility_and_blood_parameters_of_heat-stressed_primiparous_Holstein_cows
- Allen, M. (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 836:1598-1624.
- A.O.A.C. 17th edn. (2000). Official Method 965.33 Peroxide Value in Oils and Fats / Pearsons Composition and Analysis of Foods 9th edn p. 641
- Arias, R. A., Mader, T. L. y Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.* 40: 7- 22.
- Bauchart, D. (1993). Lipid absorption and transport in ruminants. *J. Dairy Sci.*, 76, 3864-3881.
- Bauman D. E., Perfield II J. W., de Veth M. J. and Lock A. L. (2003). New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. *Proc. Cornell Nutr. Conf.* pp. 175-189.
- Bauman, D. E., Lock, A. L. (2006). Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. <http://tristatedairy.osu.edu/Bauman.pdf>
- Beam, T. M., Jenkins, T.C., Moate, P.J., Kohn, R. A., and Palmquist, D. L. (2000). Effects of amount and source of fat on the rates of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. *J. Dairy Sci.* 83:2564-2573.
- Beede, D. K., Collier, R. J. (1986). Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J Anim Sci* 62, 543-555.
- Bell, A. W. (1980). Lipid metabolism in the liver and selected tissues and in the whole body of ruminant animals. *Prog. Lipid Res.* 18: 117-164.
- Bergasa, A. M. (2007). Colesterol, triglicéridos y su control. Madrid, España: EDAF, S. L. ISBN: 9788441411197
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*. 4:1167–1183.
- Bertics, S. J., Grummer, R. R., Cadorniga-Valino, C., Stoddard, E. E. (1992). Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration and early lactati. *J. Dairy Sci.* 75, 1914–1922.

- Bligh, J. (1976). Introduction to acclimatory adaptation-including notes on terminology. In: Bligh, J., J. L. Cloudsley-Thompson, and A. G. Macdonald, editors. *Environmental physiology of animals*. New York: John Wiley and Sons; p. 219–229.
- Block, E., Chalupa, W., Evans, E., Jenkins, T., Moate, P., Palmquist, D., Sniffen, C. (2005). Calcium salts yield highest digestibility. *Feedstuffs; the weekly newspaper for agrobusiness*. Web. <https://www.researchgate.net/publication/265347424/download>
- Bloom, S. R., and A. V. Edwards. (1985). Pancreatic neuroendocrine responses to butyrate in conscious sheep. *J. Physiol.* 364:281–288.
- British Nutrition Foundation. (2004). Energy and Nutrients. Recuperado: <http://nutrition.bnforg.uk>.
- Brockman, R. P. (1978). Roles of glucagón and insulin in the regulation of metabolism in ruminants a review. *Can. Vet. J.* 19: 55-62.
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non- shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* 90, 451-462
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A. (2006). Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livest Sci* 105, 57-68.
- Bunting, L. D., Fernandez, J. M., Fornea, R. J., White, T. W., Froetschel, M. A., Stone, J. D., Ingawa, K. (1996). Seasonal effects of supplemental fat or undegradable protein on the growth and metabolism of Holstein calves. *J Dairy Sci.* 79:1611–1620.
- Campos, R., Carreño, E. S. y González, F D. (2004). Perfil metabólico de vacas nativas colombianas. Web. <http://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/182/626>.
- Chan, S. C., Huber, J. T., Chen, K. H., Simas, J. M., and Wu, Z. (1997). Effects of ruminally inert fat and evaporative cooling on dairy cows in hot environmental temperatures. *J. Dairy Sci.* 80:1172–1178.
- Codex Alimentarius Commision - Codex Standards for Fats and Oils from Vegetable Sources. (1999). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/004/y2774e/y2774e04.htm#bm4.1>
- Collier, R., Baumgard, L., Zimbelman, R., Xiao, Y. (2018). Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. vfy03. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
- Conner, A. S. (2007). Comparative total tract digestibility of palmitic and steric acid in sheep as a model for dairy cattle. M.S., Thesis, Utah State University, Logan, UT.

- Coppock, C. E. and Wilks, D. L. (1991). Supplemental fat in high-energy rations for lactating cows: effects on intake, digestion, milk yield, and composition. *J. Anim. Sci.* 69:3826-3837
- Cuvelier, C., Cabaraux, J. F., Dufrasne, I., Hornick, J. L., and Istasse, L. (2004). Acides gras: nomenclature et sources Alimentarius. *Ann. Med. Vet.* 148:133-140.
- Cuvelier, C., Cabaraux, J.F., Dufrasne, I., Istasse, L., and Hornick, J.L. (2005). Production, digestion et absorption des acides gras chez le ruminant. *Ann. Méd. Vét.* 149: 49-59.
- Davis, C.L. 1990. A brief review of fats: Kinds, make-up, digestion, absorption, and use in rations of both ruminants and non-ruminants. In: Fats in Animal Feeds. Milk Specialties Co. Dundee, IL., p. 19.
- Demeyer, D. and Doreau, M. (1999). Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* 58: 593-607.
- Doreau, M., and Ferlay, A. (1994). Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 45: 379-396.
- Doreau, M. and Chilliard, Y. (1997). Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78 (Supp. 1): S15-S35.
- Drackley, J. K., Cicela, T. M. and LaCount, D. W. (2003). Responses of primiparous and multiparous Holstein cows to additional energy from fat or concentrate during summer. *J. Dairy Sci.* 86:1306–1314.
- Drackley, J. K. (2004). Overview of Fat Digestion and Metabolism in Dairy Cows. Urbana, Illinois. Recuperado <http://livestocktrail.illinois.edu/uploads/dairynet/papers/.pdf>
- Duygu, U., Meltem, C., Faruk, B., Nazmiyed, G., and Canan, H. (2008). Effects of plasma insulin, glucose and NEFA concentrations of feeding frequency during long term in lambs. *J. Biol. Environ. Sci.*, 2: 45-51.
- Elliot, J. P., Drackley, J. K., Beaulieu, A. D., Aldrich, C. G., and Merchen, N. R. (1999). Effects of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion in steers: digestion of fatty acids, triglycerides, and energy. *J. Anim. Sci.* 77:1919-1929.
- Emery, R.S., Liesman, J.S., Herdt, T.H. (1992). Metabolism of long chain fatty acids by ruminant liver. *J. Nutr.*, 122, p. 832- 837.
- Fenzo, R (2005). Grasas de efecto by-pass en rumiantes. Ergomix.com. recuperado Recuperado <http://www.ergomix.com>
- Fregley, M. J. (1996). Adaptations: some general characteristics. In: Fregley, M. J., and C. M. Blatteis, editors. Handbook of physiology, section 4: environmental physiology . vol. I. Oxford: Oxford University Press; p. 3–15.

- Gaughan, J. B., Holt, S. M., Hahn, G. L., Mader, T. L., Eigenberg, R. (2000). Respiration rate is a good measure of heat stress in cattle. *Asian-Australian J Anim Sci* 13 (Suppl. C), 329-332.
- Gaughan, J. B., Mader, T. L. (2009). Effects of sodium chloride and fat supplementation on finishing steers exposed to hot and cold conditions. *J Anim Sci.* 87:612–621.
- German, J. B., et al. (2009). Review. A reappraisal of the impact of dairy foods and milk fat on cardiovascular disease risk. *Eur. J. Nutr.* 48:191–203.
- Gomes, C. L., Alcalde, R., Cecato, C., Ulysses, M., Caroline, G., Santos, S., Mazziero, J. (2016). Effect of calcium salts of fatty acids on the nutritive value of diets, feeding behavior, and serum blood parameters of lactating Saanen goats grazing on stargrass. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(8), 466-477. <https://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016000800007>
- Hahn, G. L, Parkhurst, A. M., Gaughan, J. B. (1997). Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. *ASAE Paper* N° MC97-121, St. Joseph, Michigan, USA.
- Harfoot, C. G., and Hazlewood, G. P. (1997). Lipid metabolism in the rumen. In: P. N. Hobson and C. S. Stewart (ed.) London: Chapman & Hall, pp 382-426.
- Hartley, C.W.S. (1988.) The Oil Palm. 3rd ed. New York:John Wiley & Sons Inc.,. p. 19.21
- He, Y., Niu, W., Qiu, Q., Xia, C., Shao, T., Wang, H., Li, Q., Yu, Z., Gao, Z., Aziz, M., Su, H., Cao, B. (2018). Effect of calcium salt of long-chain fatty acids and alfalfa supplementation on performance of Holstein bulls. *Oncotarget; Open Access Impact Journal.* V.9(3): 3029–3042.
- Herd, T. H., (2000). Ruminant adaptation to negative energy balance. Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice* 16, 215–230.
- Hocquette, J. F., and Bauchart, D. (1999). Intestinal absorption, blood transport and hepatic and muscle metabolism of fatty acids in preruminant and ruminant animals. *Reprod. Nutr. Dev.* 39: 27-48.
- Huber, J. T., Higginbotham, G., Gomez-Alarcon, R. A., Taylor, R. B., Chen, K. H., Chan, S.C., Wu, Z. (1994). Heat stress interactions with protein, supplemental fat, and fungal cultures. *J Dairy Sci.* 77:2080–2090.
- I.S.I. Handbook of Food Analysis (Part XIII). (1984). p. 68
- Jenkins, T. C. (1993). Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851–3863.
- Jenkins, T. C., Wallace, R. J., Moate, P. J., Mosley, E. E. (2008). Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J Anim Sci*, 86: 397–412

- Jennings-Croci, J. P. (2002). Effects of carbohydrate sources, calcium propionate, and calcium soaps of palm fatty acids distillate on lactating Holstein cows during summer. M.S. Thesis. University of Florida, Gainesville.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77, 59–91.
- Knapp, D. M., Grummer, R. R. (1991). Response of lactating dairy cows to fat supplementation during heat stress. *J. Dairy Sci.* 74:2573–2579.
- Lock, A. L., Harvatine, K. J., Drackley, J. K., and Bauman, D. E. (2006). Concepts in fat and fatty acid digestion in ruminants. *Proc. Intermountain Nutr. Conf.* pp. 85-100.
- Lock, A. L., Preseault, C. L., Rico, J. E., DeLand, K. E., Allen, M. S. (2013). Feeding a C16 : 0-Enriched Fat Supplement Increased the Yield of Milk Fat and Improved Conversion of Feed to Milk. *J. Dairy Sci.* 96.10: 6650–6659.
- Loften, J. R., Linn J. G., Drackley, J. K., Jenkins, T. C., Soderholm, C. G. and Kertz, A. F. (2014). Invited review: Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 10.3168 97:4661-4674
- Mackle, T. R., Dwyer, D. A., Ingyartsen, K. L., Chouinard, P. Y., Lynch, J. M., Barbano, D. M., Bauman, D. E. (1999). Effects of insulin and amino acids on milk protein concentration and yield from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:15121524.
- Mader, T. L., Davis, M. S. Gaughan, J., Brown-Brandl, T. M. (2005). Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. Meeting abstract. 16th Conference on Biometeorology and Aerobiology. Vancouver, British Columbia, Canada B3. Cdrom.
- Mader, T. L., Kreikemeier, V. M. (2006). Growth promoting agents and season effects on blood metabolite and body temperature. *Nebraska Beef Report* MP88-A, Pp 79-82.
- Maia, M. R. G., Chaudhary, L. C., Figueres, L. and Wallace, R. J. (2007). Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie van Leeuwenhoek*, 91:303–314.
- Manual of Methods of Analysis of Foods. Oils and Fats.* (2015). Food Safety and Standards Authority of India, Ministry of Health and Family Welfare. Government of India. http://old.fssai.gov.in/Portals/0/Pdf/Draft_Manuals/OILS_AND_FAT.pdf.
- Martínez, A. L., Pérez, M., Pérez, L., y Gómez, G. (2010a). Digestión De Los Lípidos En Los Rumiantes: Una Revisión. *Interiencia.* 35(4): 240–246. ISSN: 0378-1844

- Martínez, A. L., Pérez, M., Pérez, L., Gómez, G. y Carrión, D. (2010b). Metabolismo de Los Lípidos En Los Rumiantes - Lipid Metabolism in Ruminants. *REDVET*. 11(8): 1–21. ISSN: 1695-7504
- Maurya, V. P., Sejian, V., Kumar, D. and Naqvi, S. M. (2018). Impact of heat stress, nutritional restriction and combined stresses (heat and nutritional) on growth and reproductive performance of Malpura rams under semi-arid tropical environment. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(5), 31-38. doi:10.1111/jpn.12443
- Mba, O. I., Dumont, M. J. and Ngadi, M. (2015). Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry – A review. *Food Bioscience*. 10.1016. 10:26-41.
- McNamara, J. P. (1991). Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *J. Dairy Sci.* 74, 706–719.
- McArt, J., Nydam, D., Oetzel, G., Overton, T. and Ospina, P. (2013). Elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. *The Veterinary Journal*. 10.1016. 198:560-570.
- McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J. And Morgan, C. (2006). *Nutrición Animal*. (6th ed.) Zaragoza (España): Editorial Acribia, p. 593
- Mc Govern, R. E., Bruce, J. M. (2000). A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. *J Agric Engng Res* 77, 81-92.
- Meat and Livestock Australia*. (2002). Understanding excessive heat load in feedlot cattle. On farm tips & tools. Feedlot FL11, Australia.
- Moore, J. H. and W. W. Christie. (1984). Digestion, absorption and transport of fats in ruminant animals. In: *Fats in Animal Nutrition* (Wiseman, J.). London:. Butterworths, pp. 123-149
- National Research Council. (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Washington, DC: The National Academy Press.
- Negrón, M. (2016). Evaluación de suplementos de grasa sobre pasante del rumen en la dieta de ovinos sobre el consumo de nutrientes, digestibilidad y parámetros sanguíneos. <http://grad.uprm.edu/oeg/TesisDisertacionesDigitales/IndustriaPecuaria/#2016>
- Nienaber, J. A., Hahn, G. L., Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A. (2003). Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. 5th. International Dairy Housing Proceedings of the 29-31 January Conference, Fort Worth Texas, USA. ASAEpublication N° 701P0203, Pp 255-262.
- Noble, R. C. (1978). Digestion, absorption and transport of lipids. *Prog. Lipid Res.* 17: 55-91.
- Oil World Annual*. (2000). ISTA Mielke. GmbH., Hamburg, Germany.

- O'Kelly, J. C. (1987). Influence of dietary fat on some metabolic responses of cattle to hyperthermia induced by heat exposure. *Compl Biochem Physiol.* 87:677–682.
- Palmquist, D. L., Davis, C. L., Brown, R. E., and Sachan, D. S., (1969). Availability and metabolism of various substrates in ruminants. V. Entry rate into the body incorporation into milk fat of D (-) b-hydroxybutyrate. *J. Dairy Sci.* 52, 633–638.
- Palmquist, D. L. (2010). Essential Fatty Acids in Ruminant Diets. The Ohio State University, from: dairy.ifas.ufl.edu/rns/2010/12-Palmquist.pdf.
- Palmquist, D. L., Stelwagen, K. and Robinson, P. H. (2006). Preface: Modifying milk composition to increase use of dairy products in healthy diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131:149–153.
- Palmquist, D. and Jenkins, T. (2017). A 100-Year Review: Fat feeding of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100(12), 10061-10077. doi:10.3168/jds.2017-12924
- Peña, C. (2010). Método de Destilación: para la determinación de humedad y solidos totales. Web. <http://avibert.blogspot.com/2010/11/metodo-de-destilacion.html>
- Pethick, D. W., Bell, A. W. and Annison, E. F. (1984). Fats as energy sources in animal tissues. In: *Fats in Animal Nutrition* (Wiseman, J.), p. 225-248, Butterworths, London, England.
- Reynolds, C. K. (2002). Economics of visceral energy metabolism in ruminants: Toll keeping or internal revenue service. *J. Anim. Sci.* 80 (E. Suppl. 2): E74–E84.
- Reynolds, C. K. (2005). Glucose balance in Cattle. Florida Ruminant Nutrition Symposium. Ohio: Ohio State University
- Rico, J. 2013. The impact of feeding palmitic and stearic acid to lactating dairy. M.S., Thesis, Michigan State University, East Lansing, MI. Print. p. 93
- Rico, D. E., Ying, Y., and Harvatine, K. H. (2014). Effect of a High-Palmitic Acid Fat Supplement on Milk Production and Apparent Total-Tract Digestibility in High- and Low-Milk Yield Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 97.6: 3739–3751.
- Russell, J. B. (2002). *Rumen Microbiology and Its Role in Ruminant Nutrition.* (1st ed.). New York: Cornell University.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS/STAT® 9.2 software. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sauvant, D., Meschy, F., and Mertens, D. (1999). Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *INRA Prod. Anim.* 11: 49-60.
- Scott, G. H. (1981). What is animal stress and how is it measured. *J. Anim. Sci.* 52(1): 150-3
- Sheep Production Handbook. (2002). Denver, CO: American Sheep Industry Association. Vol.7

- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67, 1–18.
- Siri-Tarino, P. W., Sun, Q., Hu, F. B. and Krauss, R.M. (2010a). Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 91:502–509.
- Siri-Tarino, P. W., Sun, Q., Hu, F. B. and Krauss, R.M. (2010b). Metaanalysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 91:535–546.
- Solorzano, L.C. and Kertz, L. C. (2005). Rumen inert fat supplements reviewed for dairy cows. *Feedstuffs*, 77(11): 1-5.
- Souza, J. D., Garver, J., Preseault, C. and Lock, A. (2017). Short communication: Effects of prill size of a palmitic acid–enriched fat supplement on the yield of milk and milk components, and nutrient digestibility of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100(1), 379-384. doi:10.3168/jds.2016-11610
- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-59.
- Van Nevel, C. J. and Demeyer, D. I. (1995). Lipolysis and biohydrogenation of soybean oil in the rumen in vitro: inhibition by antimicrobials. *J. Dairy Sci.* 78: 2797-2806.
- Van Nevel, C. J., and Demeyer, D. I. (1996). Influence of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Repr. Nutr. Dev.* 36: 53-63.
- Wang, J., Bu, D., Wang, J., Huo, X., Guo, T., Wei, H., Zhou, L., Rastani, R., Baumgard, L. And Li, F. (2010). Effect of saturated fatty acid supplementation on production and metabolism indices in heat-stressed mid-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93(9), 4121-4127.
- Weatherby, K. and Carter, D. (2013). Galactolipid. Recuperado de <http://www.science.com>
- Weiss, W. P., Pinos-Rodriguez, J. M. and Wyatt, D. J. (2011). The value of different fat supplements as sources of digestible energy for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94: 931-939
- West, J. W., Mullinix, G. G., Bernard, J. K. (2003). Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 86, 232-242.
- Wittwer, F. (2006). Exploración clínica de los animales domésticos. In patología clínica animal. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. pp. 92-148.
- Wood, A. H. (1894). *Effect of food on milk. Feeding with fats*. Univ. New Hampshire Agric. March. University of New Hampshire, Durham.

Wu, Z., Ohajuka, O. and Palmquist. (1991). Ruminant synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3025-3034.