

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS

“Evaluación de los residuos obtenidos de trampas de grasa (grasa de trampa) como ingrediente en las dietas para corderos en finalización: valor energético, respuesta productiva, eficiencia energética y características de la canal”

Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:

M.C. JORGE LUIS RAMOS MÉNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Alfredo Estrada Angulo

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

ASESORES

Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez

Dr. Jesús David Urías Estrada

Dr. Luis Corona Gochi

Culiacán. Sinaloa, México; octubre de 2022

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR LA M.C. **JORGE LUIS RAMOS MÉNDEZ**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR

DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO

CO-DIRECTOR

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

ASESORA

DRA. BEATRIZ ISABEL CASTRO PÉREZ

ASESOR

DR. JESÚS DAVID URÍAS ESTRADA

ASESOR

DR. LUIS CORONA GOCHI

Culiacán. Sinaloa, octubre de 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 21 de octubre del año 2022, el que suscribe **Jorge Luis Ramos Méndez**, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta **1859751-3**, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Alfredo Estrada Angulo y del Dr. Alejandro Plascencia Jorquera y que cede los derechos del trabajo titulado ***“Evaluación de los residuos obtenidos de trampas de grasa (grasa de trampa) como ingrediente en las dietas para corderos en finalización: valor energético, respuesta productiva, eficiencia energética y características de la canal”***, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

MC. Jorge Luis Ramos Méndez

Domicilio: Calle San Pedro #4118. Fraccionamiento San Benito, Culiacán. Sinaloa

Teléfono: (667) 503 70 57. Correo electrónico: jorge.ramos.fmvz@uas.edu.mx

CURP: RAMJ921007HGRMNR00



Dirección General de Bibliotecas



U n i v e r s i d a d A u t ó n o m a d e S i n a l o a

REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Restricciones

de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.



AGRADECIMIENTOS

Inicio agradeciendo al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el apoyo brindado durante la realización de mis estudios de doctorado.

Mi entera gratitud con el posgrado del programa de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias** de la **Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia** de la **Universidad Autónoma de Sinaloa** por todo el apoyo, soporte y abrir sus puertas sin distinción.

A la **Unidad de Engorda Experimental de Pequeños Rumiantes (UEEPR)** por convertirse en un refugio no sólo académico sino un espacio personal, y el espacio de realización de los experimentos que soportan el presente trabajo.

Extensos agradecimientos a mis asesores; **Dr. Alfredo Estrada Angulo** por su apoyo, consejos y total respaldo, por el profesional y ser humano que es, mi admiración para usted. Al **Dr. Alejandro Plascencia Jorquera** por abrirme las puertas desde maestría, sin conocerme y desde entonces siempre contar con su respaldo, muy agradecido con usted. A la **Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez** quien se ha convertido para mí, en una profesional y persona digna de admiración, gracias por su respaldo. A mi querido amigo **Dr. Jesús David Urías Estrada** porque sé que cuento contigo y viceversa, gracias por tu apoyo y por compartir momentos más allá de lo profesional. Al **Dr. Luis Corona Gochi**, por su respaldo y todo lo que me ha enseñado desde que tuve la oportunidad de conocerle, muy agradecido con usted.

A **Daniel A. Mendoza Cortez** porque en tan poco tiempo se ha formado una gran amistad, hemos compartido muchos capítulos y espero sigamos en ese camino.

DEDICATORIA

A Don **Sixto Ramos Vargas**[†]. Este capítulo es muy especial para mí, este trabajo ya no logró leerlo abuelo, pero sé que está orgulloso de su nieto; está conmigo siempre. Lo extraño mucho, abrazos hasta el cielo.

Para mis padres, **Sr. Roberto Ramos** y **Sra. María Méndez** sé que están orgullosos de lo que he logrado, todo este sacrificio ha sido por y para ustedes porque mis logros son suyos por fomentar en mí la dedicación y responsabilidad, todos sus consejos, porque siempre sé que cuento con ustedes.

Mis hermanitas, **Gabriela** y **Yaneth Ramos** al igual que mi abuela **Obdulia Visoso**. Las mujeres de mi vida por y para quienes siempre estaré. Las amo mucho.

A la **Dra. Beatriz Pérez Fernández** quien, se ha convertido para Yesi y para mí en parte de nuestra pequeña familia culichi, por todos los capítulos que hemos pasado juntos y porque siempre nos cuida y cuando toca ajustarnos lo hace de igual manera. Se ha ganado a pulso mi cariño y admiración.

Por último, y el más importante de todos para ti, mi querida **Yesi Arteaga** mejor compañera de vida no pude elegir, con esto cerramos un ciclo que durante un momento pensamos que no se llegaría, cada día trabajamos duro y pese a todos los obstáculos que tuvimos que pasar, pese a todas nuestras pérdidas, seguimos caminando juntos, eres mi fuerza y mi mayor motivo para luchar a diario. Te diré algo que sabes de sobra SOMOS TU Y YO CONTRA EL MUNDO ¡Te Amo!

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	V
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. REVISION DE LITERATURA.....	3
1.2.1. Generalidades de los Lípidos.....	3
1.2.2. Generalidades de los ácidos grasos.....	4
1.2.3. Digestión de los lípidos en rumiantes.....	5
1.2.3.1. Digestión ruminal.....	6
1.2.3.2 Digestión post-ruminal.....	7
1.2.4. Factores asociativos que afectan la digestión de las grasas.....	8
1.2.4.1. Tipo o fuente de grasa.....	8
1.2.4.2. Cantidad de ácidos grasos libres.....	9
1.2.4.3. Grado de saturación.....	10
1.2.4.4. Método de adición.....	11
1.2.4.5. Nivel de adición.....	11
1.2.5. Principales fuentes de grasa y aceites en la alimentación de rumiantes.....	11
1.2.5.1. Lípidos en forrajes.....	12
1.2.5.2. Grasa Amarilla.....	13
1.2.5.3. Sebo.....	13
1.2.5.4. Grasas mezcladas.....	13
1.2.5.5. Extractos de jabón.....	14
1.2.5.6. Grasa de trampa.....	14
1.2.6. Factores intrínsecos que afectan el valor energético de las grasas.....	14
1.2.7. Factores extrínsecos que afectan el valor energético de las Grasas.....	15
1.3. CONCLUSIÓN.....	16

CAPÍTULO 2. ARTÍCULO 1. Grease trap waste (griddle grease) as a feed ingredient for finishing lambs: growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics.....	17
2.1. Abstract.....	18
2.2. Introduction.....	19
2.3. Materials and Methods.....	19
2.3.1 Animal, diets and sample analyses.....	19
2.3.2. Calculations.....	19
2.3.3. Carcass characteristics.....	20
2.3.4. Statistical analyses.....	20
2.4. Results and Discussion.....	20
2.5. Conclusions.....	22
2.6. Conflict of interest.....	22
2.7. References.....	22
CAPÍTULO 3. ARTÍCULO 2. Comparative energy value of cooked grease recovered from rinse-trap water lines (grease trap waste) used as dietary fat source of finishing lambs.....	24
3.1. Abstract.....	25
3.2. Introduction.....	26
3.3. Materials and Methods.....	27
3.3.1. Animal, diets and sample analyses.....	27
3.3.2. Calculations.....	29
3.3.3. Carcass characteristics.....	30
3.3.4. Visceral mass data.....	30
3.3.5. Statistical analyses.....	31
3.4. Results and Discussion.....	31
3.5. Conclusions.....	35
3.6. Conflict of interest.....	35
3.7. References.....	35
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....	46
CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación general de los lípidos.....	4
2	Nombre y clasificación de los ácidos grasos de acuerdo al número de carbonos.....	5
3	Composición química promedio de las principales grasas comerciales utilizadas en la alimentación animal.....	9
4	Dietary composition of experimental diets fed to lambs.....	20
5	Effect of supplementation level of GT on growth performance, dietary energy, and estimated NE.....	21
6	Effect of supplementation level of GT on carcass characteristics of lambs	21
7	Composition of dietary treatments offered to lambs.....	42
8	Effect of source of dietary supplemental fat on 84-d feedlot on growth performance and dietary energy of lambs.....	43
9	Effect of source of dietary supplemental fat on carcass characteristics and shoulder tissue composition in lambs.....	44
10	Effect of source of dietary supplemental fat on visceral organ mass.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Digestión ruminal de las grasas.....	7
2	Digestión post-ruminal de las grasas.....	8

RESUMEN

“Evaluación de los residuos obtenidos de trampas de grasa (grasa de trampa) como ingrediente en las dietas para corderos en finalización: valor energético, respuesta productiva, eficiencia energética y características de la canal”

M.C. Jorge Luis Ramos Méndez

Con la finalidad de evaluar el desecho de grasa recuperada de trampas de desagüe como posible sustituto de las grasas comúnmente utilizadas como ingredientes en las dietas para corderos en finalización, se realizaron 2 experimentos. En el primer experimento se evaluó el efecto del nivel de inclusión de la grasa de trampa (GT) sobre el rendimiento productivo, la energética de la dieta y las características de la canal. Para ello, se alimentaron durante 61 días 48 corderos (37.7 ± 3.4 kg, peso vivo inicial) con una dieta de finalización conteniendo 0, 2, 4 o 6% de GT. La grasa sustituyó al maíz quebrado en la dieta testigo. La GT contuvo un 6.4% de humedad, un 3.1% de impurezas y un 79.8% de ácidos grasos totales (AGT). Resultados; El aumento del nivel de GT en las dietas no afectó el consumo de materia seca ni la ganancia diaria de peso, pero aumentó linealmente la eficiencia de ganancia y la energía neta estimada de la dieta (EN). Sin embargo, la relación entre la EN de la dieta observada sobre la esperada disminuyó con el aumento de los niveles de GT como consecuencia de una reducción en el valor de la EN de la GT cuando el nivel de inclusión fue superior al 4%. La grasa renal- pélvica-cardíaca aumentó a medida que se incrementó el nivel de suplemento de GT; por otra parte, las características de la canal y la composición tisular de la paleta no se vieron afectadas. Utilizando la técnica de reemplazo, el valor de EN estimada para GT fue el 93 % del valor de EN estipulado para las grasas convencionales por el NASEM (2007). En el segundo experimento, basados en la respuesta productiva de 48 corderos (27.7 ± 3.4 kg, peso vivo inicial) los cuales se alimentaron durante 84 días con las dietas experimentales, se comparó el valor energético de la grasa de trampa contra las 2 fuentes principales de grasas [grasa amarilla (GA) y sebo de res (SR)] comúnmente utilizadas en la elaboración de dietas para corderos en finalización. El nivel de inclusión fue de 4% y fue reemplazando al maíz quebrado. Los tratamientos fueron: 1) 0% de grasa suplementada, 2) 4% GA, 3)

4% SR y 4) 4% GT. Las grasas suplementarias reemplazaron al maíz en la dieta de control. La grasa de la trampa contuvo mayor humedad (16.5 frente a 0.92 %) e impurezas (3.6 frente a 0.56 %) y menos ácidos grasos totales (64.90 frente a 89.60 %) que las grasas convencionales (GA y SR). La ganancia diaria de peso y la eficiencia de la ganancia fueron similares para los corderos de control y los suplementados con GT, mientras que la ganancia diaria y la eficiencia de ganancia fueron mayores para los corderos alimentados con las grasas convencionales comparados con los corderos del grupo control o con aquellos suplementados con GT. Tanto la energía neta (EN) de la dieta, como la relación entre la EN dieta observada vs la EN esperada fueron un 4.0 % mayor para los corderos suplementados con grasas convencionales frente a GT. La grasa suplementaria aumentó la deposición de grasa, pero no afectó ninguna otra medida de la canal ni la masa visceral magra. El valor de EN estimada para GT fue el 57.0 % del valor promedio de la EN (6.11 Mcal/kg) de las grasas convencionales probadas. En resumen, basado en los resultados de los 2 experimentos se concluye que la suplementación con GT no afecta a la aceptabilidad de la dieta por lo que GT es una alternativa adecuada a las grasas convencionales utilizadas comúnmente en dietas para corderos de engorda. Dada sus características (contenido de impurezas y humedad) se recomienda no utilizarla más del 4% en la dieta. El valor energético comparativo de GT es menor a las grasas convencionales y este valor dependerá de su contenido total de ácidos grasos totales e impurezas.

Palabras clave: corderos, grasa de trampa, respuesta productiva, características de la canal.

ABSTRACT

"Evaluation of residues obtained from fat traps (griddle grease) as an ingredient in diets for finishing lambs: energy value, productive response, energy efficiency and carcass characteristics."

M.C. Jorge Luis Ramos Méndez

In order to evaluate the waste of fat recovered from dewatering traps as a possible substitute for fats commonly used as ingredients in diets for finishing lambs, 2 experiments were conducted. In the first experiment, the effect of the inclusion level of trap fat (TG) on productive performance, diet energetics and carcass characteristics was evaluated. For this purpose, 48 lambs (37.7 ± 3.4 kg, initial live weight) were fed for 61 days with a finishing diet containing 0, 2, 4 or 6% GT. Fat replaced broken corn in the control diet. The GT contained 6.4% moisture, 3.1% impurities and 79.8% total fatty acids (TFA). Increasing the level of GT in the diets did not affect dry matter intake or daily weight gain, but linearly increased gain efficiency and estimated net dietary energy (NE). However, the ratio of observed over expected diet EN decreased with increasing levels of WG because of a reduction in the EN value of WG when the inclusion level was higher than 4%. Renal-pelvic-cardiac fat increased as the level of GT supplementation increased; on the other hand, carcass characteristics and tissue composition of the shoulder were not affected. Using the replacement technique, the estimated EN value for GT was 93 % of the EN value stipulated for conventional fats by NASEM (2007). In the second experiment, based on the productive response of 48 lambs (27.7 ± 3.4 kg, initial live weight) which were fed for 84 days with the experimental diets, the energy value of trap fat was compared against the 2 main sources of fats [yellow grease (YG) and beef tallow (SR)] commonly used in the preparation of diets for finishing lambs. The inclusion level was 4% and was replacing cracked corn. The treatments were: 1) 0% fat supplemented, 2) 4% GA, 3) 4% SR and 4) 4% GT. The supplemented fats replaced corn in the control diet. The trap fat contained higher moisture (16.5 vs. 0.92 %) and impurities (3.6 vs. 0.56 %) and less total fatty acids (64.90 vs. 89.60 %) than conventional fats (GA and SR). Results: Daily weight gain and gain efficiency were similar for control and GT-supplemented lambs, while daily gain

and gain efficiency were higher for lambs fed the conventional fats compared to lambs in the control group or those supplemented with GT. Both diet net energy (NE) and the ratio of observed vs. expected diet NE were 4.0 % higher for lambs supplemented with conventional fats vs. GT. Supplemental fat increased fat deposition but did not affect any other carcass measurements or lean visceral mass. The estimated ND value for GT was 57.0 % of the average ND value (6.11 Mcal/kg) of the conventional fats tested. In summary, based on the results of the 2 experiments it is concluded that GT supplementation does not affect diet acceptability making GT a suitable alternative to conventional fats commonly used in diets for fattening lambs. Given its characteristics (impurity and moisture content) it is recommended not to use more than 4% in the diet. The comparative energy value of GT is lower than conventional fats and this value will depend on its total content of total fatty acids and impurities.

Key words: lambs, griddle grease, growth performance, carcass characteristics.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 INTRODUCCIÓN

La normativa medioambiental relativa a la eliminación de los residuos de grasa y aceite es cada vez más rigurosa (Sheinbaum *et al.*, 2015), lo que ha provocado un reciclaje más generalizado de los residuos grasos para su uso como suplementos alimenticios (Abdel-Shafy y Mansour, 2018). Razón por la cual un gran número de restaurantes y cafeterías colocan trampas en las líneas de vertederos para recoger la grasa, y reducir la contaminación de las aguas residuales (Sheinbaum-Pardo *et al.*, 2013; Wang y Wang, 2013).

En Estados Unidos, por ejemplo, se estima que 1.8 mil millones de kg/año de grasa residual se recupera (Tran *et al.*, 2016), cuando se recicla por separado, este material se denomina comúnmente “grasa de trampa” (GT) o residuo de trampa de grasa (RTG). Debido al proceso utilizado para la recuperación de la GT y al proceso final aplicado antes de la distribución (Henriksson, 2016) existen variaciones en la composición, tienen mayores concentraciones de humedad, impurezas y material insaponificable [menor concentración de ácidos grasos totales (AGT)], y una concentración de AG libres aproximadamente tres veces mayor que la grasa de uso convencional (sebo/grasa amarilla; Zinn y Plascencia, 2007).

En la actualidad, las grasas recicladas más comunes con las que se alimenta al ganado son el sebo (TL) y la grasa amarilla (YG). Cuando su precio es competitivo con el del maíz en hojuela (valor energético= 2.38 Mcal ENm/kg; NRC, 2007) el cual, es la principal fuente de energía para dietas de rumiantes en México y EE. UU., el sebo y la grasa amarilla (valor energético = 6.30 y 5.80 Mcal ENm/kg para YG y TL, respectivamente; NRC, 2007) son fuentes de energía adecuadas y generalmente menos costosas.

Plascencia *et al.*, (1999), observaron que el valor de energía neta estimada (EN) de la GT era del 88% del de la grasa amarilla cuando se incluía al 5% en dietas de finalización para engorda en corral. Es bien sabido que, la calidad de la grasa con relación al contenido de humedad, impurezas y contenido total de ácidos grasos afecta su valor energético (Zinn y Plascencia, 2007).

Hasta el día de hoy, no existe evidencia científica en la que evalúen las características nutricionales (aceptabilidad y valor su energético), el nivel de inclusión a las dietas, así como la comparación directa con grasas suplementarias convencionales (GA y SR) en dietas altas en energía para corderos en fase de finalización. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue, determinar el nivel óptimo de inclusión de grasa de trampa en dietas altas en energía y compararlo contra el sebo y la grasa amarilla, en variables de respuesta productiva, densidad energética, características de la canal, composición de los tejidos y masa visceral de corderos en etapa de finalización.

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1. Generalidades de los lípidos

Harper (2015), clasificó a los lípidos como un grupo de compuestos heterogéneos, que incluye grasas, aceites, esteroides, ceras y compuestos relacionados más por sus propiedades físicas que por sus propiedades químicas. Tienen la propiedad común de ser: 1) insolubles en agua y 2) solubles en solventes no polares, como éter y cloroformo. Químicamente los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias orgánicas que tienen en común el ser moléculas no polares, insolubles en el agua, solubles en los solventes orgánicos, estar formadas de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y en ocasiones Fósforo, Nitrógeno y Azufre y que son ésteres reales o potenciales de los ácidos grasos. Las funciones que desarrollan en los seres vivos son muy diversas aprovechando la amplia heterogeneidad que presentan sus moléculas, de forma abreviada serían las siguientes: a) Función de reserva energética: Constituyen un almacén energético a largo plazo, utilizable por el organismo durante largos periodos de tiempo. Debido a la baja tendencia a relacionarse con el agua constituyen un tipo de molécula que puede almacenarse de forma anhidra, sin moléculas de agua acompañantes como en el glucógeno, por lo tanto, de manera muy compacta. b) Función estructural: Es un componente mayoritario de las membranas celulares, tanto de la membrana plasmática como de la membrana de los orgánulos intracelulares. Sirve también como elemento aislante térmico al disponer de una baja conductividad térmica, protector y lubricante. c) Función reguladora: Diversos tipos de lípidos desarrollan acciones de control hormonal, o bien de reguladores del metabolismo y de mediadores informativos tanto en el exterior como en el interior de las células.

Los lípidos cuantitativamente más importantes en la alimentación de los rumiantes son aquellos que contienen ácidos grasos unidos a glicerol: triglicéridos, glucolípidos y fosfolípidos (Cuadro 1). Los triglicéridos son mayoritarios en los lípidos de las materias primas no forrajeras, y los glucolípidos y fosfolípidos, predominan en los lípidos de los forrajes (Morand-Fehr y Tran, 2001). A los triglicéridos se les denomina de forma genérica como grasas, aunque normalmente se distinguen dos tipos: aceites y grasas (Fuller, 2008). Los aceites que tienen ácidos grasos de menos de 10 carbonos o con

uno o más enlaces dobles, son líquidos a temperatura ambiente, y son normalmente de origen vegetal, aunque existen excepciones como los aceites marinos. Las grasas tienen ácidos grasos saturados de 10 o más carbonos, son sólidas a temperatura ambiente, y son de origen animal como por ejemplo la manteca (procedente del ganado porcino) y el sebo (procedente del ganado vacuno, ovino y equino).

Cuadro 1. Clasificación general de los lípidos.

Lípidos saponificables	Lípidos simples u Hololípidos	Acilglicéridos o glicéridos Céridos	
	Lípidos complejos o Heterolípidos	Fosfolípidos Glucolípidos	Glicerofosfolípidos Esfingofosfolípidos Gliceroglucolípidos Esfingoglucolípidos
Lípidos Insaponificables	Esteroides Terpenos Prostaglandinas		

Adaptado de Cuvelier *et al.*, (2004), y McDonald *et al.*, (2006)

1.2.2. Generalidades de los ácidos grasos

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos de cadena alifática hidrófoba. Pueden dividirse en cuatro categorías de acuerdo con el número de carbonos o longitud de su cadena (Cuadro 2): volátiles, con 2-4 carbonos; cadena corta, con 6-10 carbonos; media, con 12-16 carbonos; y larga, a partir de 16 carbonos. Si no contienen ningún enlace doble en su molécula se denominan saturados. Cuando contienen enlaces dobles son denominados insaturados, distinguiéndose entre mono-, di-, tri- o poliinsaturados, según tengan uno, dos, tres o más de aquellos. Los ácidos grasos insaturados pueden ser clasificados atendiendo a la posición del primer enlace doble contando desde el grupo metilo Terminal. Por ejemplo, son de la serie n-3 (ω - 3) cuando el enlace doble se sitúa entre los carbonos tres y cuatro, serie n-6 (ω - 6) cuando aquel se sitúa ente los carbonos seis y siete, etc. Para una misma fórmula química, los ácidos grasos insaturados pueden tener múltiples isómeros de naturaleza estructural, según la localización de los enlaces dobles en la cadena, y espacial, según los hidrógenos unidos a los átomos de carbono del enlace doble se encuentren en el

mismo lado (cis) o a ambos lados (trans) del enlace doble (Cuvelier *et al.*, 2004; McDonald *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Nombre y clasificación de los ácidos grasos de acuerdo al número de carbonos

Nombre común del ácido	No. carbonos	Posición del doble enlace
Fórmico	1:0	
Acético	2:0	
Propiónico	3:0	
Butírico	4:0	
Valeriánico	5:0	
Caproico	6:0	
Caprílico	8:0	
Caprico	10:0	
Laúrico	12:0	
Mirístico	14:0	
Palmítico	16:0	
Estearico	18:0	
Oleico	18:1:9	
Linoleico	18:2:9,12	
Linolénico	18:3: 9,12,15	
Araquídico	20:0	
Araquidónico	20:4 5,8,11,14	
Behénico	22:0	
Erucico	22:1: 13	
Lignocérico	24:0	
Nervónico	24:1: 15	

1.2.3. Digestión de los lípidos en rumiantes

La única vía metabólica para la utilización de los ácidos grasos es la β -oxidación para producir acetil-CoA, y su introducción en el ciclo de Krebs, de donde se obtiene la energía. Pero la extracción de energía en el ciclo de Krebs requiere la presencia de oxígeno, y el carácter anaerobio del rumen impide la utilización de grasas como fuente de energía por parte de las bacterias ruminales. Sin embargo, aunque no los utilizan como fuente de energía, la población microbiana actúa sobre los lípidos, modificándolos. La digestión de la grasa incluye una fase de hidrólisis o lipólisis y otra de hidrogenación, de modo que los ácidos grasos absorbidos en el intestino son más saturados que los presentes en la ración (Doreau y Chilliard, 1997).

1.2.3.1. Digestión ruminal

Los lípidos sufren dos procesos importantes dentro del rumen, el primero es una lipólisis, la cual se refiere a la liberación por hidrólisis de los ácidos grasos esterificados en los triglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos por medio de las lipasas microbianas (Lourenco *et al.*, 2010) y, por otro lado, los ácidos grasos poliinsaturados sufren una biohidrogenación, proceso que consiste en la reducción de los enlaces dobles existentes en los ácidos grasos liberados. El glicerol puede ser fermentado (convertido a propionato) y absorbido en rumen o pasar al intestino (Ferraro *et al.*, 2009). Si los lípidos de la dieta son accesibles a la microflora del rumen, son hidrolizados rápida y extensamente. La lipólisis libera los ácidos grasos y el glicerol, o la galactosa en el caso de los glicolípidos, con nula o escasa acumulación de mono o di-glicéridos (Hawke y Silcock, 1970). El glicerol y la galactosa libres son rápidamente fermentados (Johns, 1953), el primero mayoritariamente a ácido propiónico mientras que el segundo lo es a ácido acético (Hobson y Mann, 1961). La principal actividad lipolítica es debida a lipasas, galactolipasas y fosfolipasas de origen mayoritariamente bacteriano, pero también de origen protozario (Harfoot y Hazlewood, 1988). Las lipasas vegetales son secundarias con relación a las lipasas microbianas (Dawson *et al.*, 1977), y la lipasa de la saliva de los rumiantes tiene baja actividad (Gooden, 1973). La lipólisis puede verse reducida por la presencia de antibióticos (Van Nevel y Demeyer, 1995a) o un bajo pH ruminal (Van Nevel y Demeyer, 1996b), así como por el incremento de la grasa incluida en la dieta o un elevado punto de fusión de aquella (Beam *et al.*, 2000). La menor lipólisis observada en dietas ricas en almidón (Gerson y King, 1985) es debida probablemente al bajo pH ruminal que ocasiona el consumo de tales dietas (Sauvant *et al.*, 1999). Los ácidos grasos saturados liberados no sufren modificaciones en el rumen, pero los insaturados son rápidamente hidrogenados por las bacterias. Por otra parte, los principales sustratos para la biohidrogenación presentes en los alimentos de los rumiantes son los ácidos linoleico y linolénico (Doreau y Ferlay, 1994). El proceso de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados de 18 carbonos conduce a la formación de ácido esteárico. Los factores que determinan la eficacia de la biohidrogenación son diversos, en primer lugar, la isomerización previa la cual requiere que el grupo carboxilo de la molécula esté libre, lo cual determina que la lipólisis pueda

considerarse como la etapa limitante del proceso global y que todos los factores que repercuten sobre la lipólisis afecten también a la biohidrogenación (Bauman *et al.*, 2003). La eficacia de la biohidrogenación se relaciona negativamente con la proporción de concentrados en la dieta (Sauvant y Bas, 2001). De hecho, la biohidrogenación es más intensa en dietas con abundantes forrajes (Kucuk *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2006).

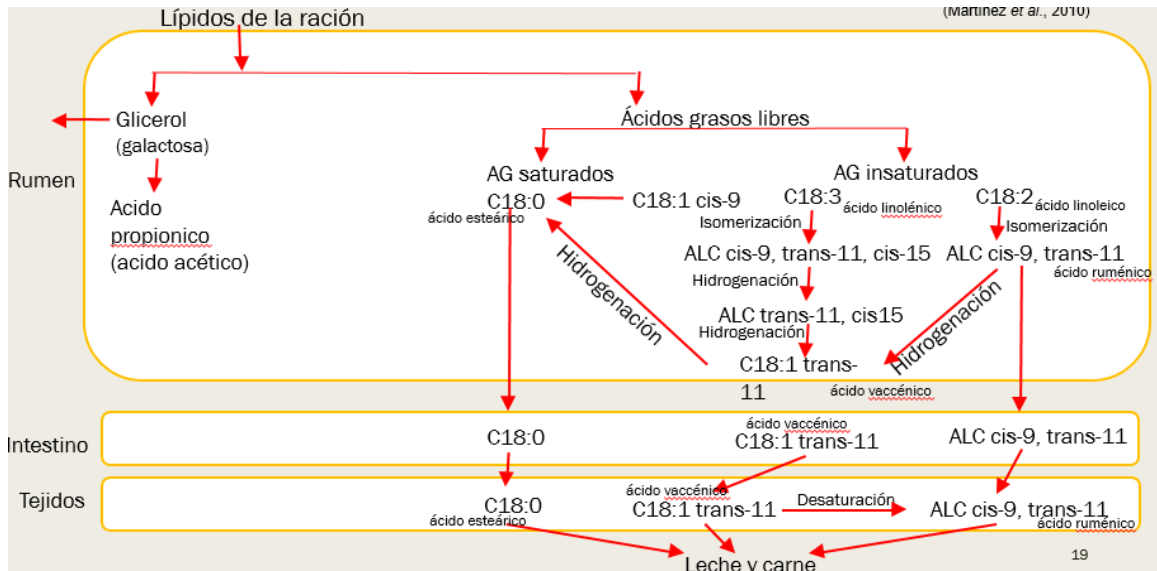


Figura 1. Digestión ruminal de las grasas; Martínez *et al.*, 2010.

1.2.3.2. Digestión post-ruminal

Como consecuencia de la digestión microbiana ruminal, los lípidos que abandonan el rumen son predominantemente ácidos grasos saturados (AGS) no esterificados de origen alimentario y microbiano (70%), y cantidades variables de fosfolípidos microbianos (10-20%) (Bauchart, 1993). Únicamente el 10-15% de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) consumidos en la dieta escapa a la biohidrogenación ruminal para llegar directamente a intestino delgado (Givens *et al.*, 2006). Los ácidos grasos que llegan al duodeno se encuentran mayoritariamente adsorbidos en las partículas alimenticias, las bacterias y las células endoteliales descamadas (Demeyer y Doreau, 1999). Los ácidos grasos son liberados de las partículas por detergencia polar. Las sales biliares favorecen la interacción de los ácidos grasos con los fosfolípidos de la bilis y el agua, lo cual conduce a la formación de una fase líquida cristalina. El avance de la digesta se acompaña de un aumento del pH desde un valor de 3-4 en las proximidades del orificio común de los conductos biliar y pancreático hasta 8 en el íleon

(Noble, 1978). El aumento del pH facilita que la fase líquida cristalina se disperse en presencia de las sales biliares para formar una solución micelar. Simultáneamente, la liberación de lisolecitinas desde los fosfolípidos biliares y bacterianos por la acción de las fosfolipasas pancreáticas estimula aún más la solubilización y mejora el paso de los ácidos grasos a través de capa acuosa que recubre las microvellosidades intestinales, llamada quilomacrón (Bauchart, 1993). Los pocos triglicéridos que escapan del rumen son hidrolizados en los tramos iniciales del intestino delgado por la lipasa pancreática, cuya actividad se mantiene a pesar del bajo pH (óptimo de 7,5-7,8) gracias a la protección que presta la presencia de las sales biliares (Noble, 1978).

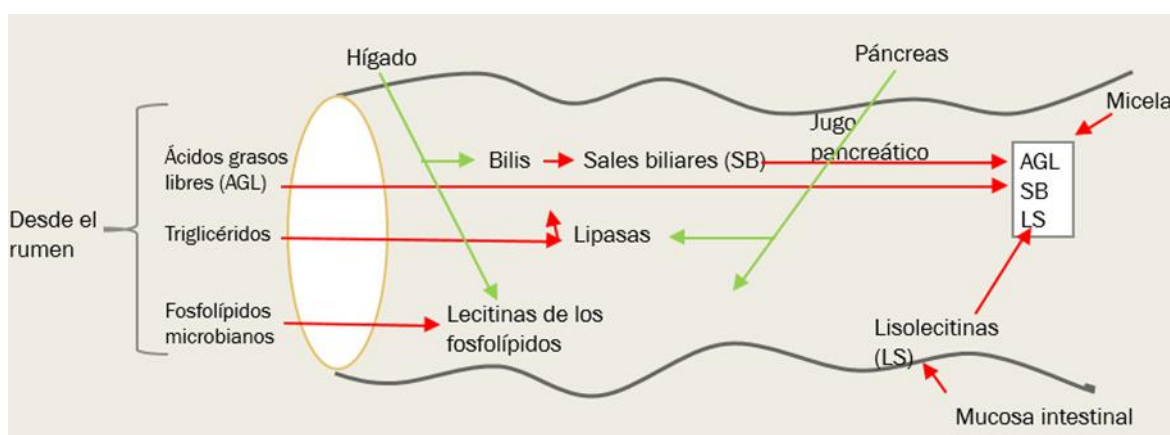


Figura 2. Digestión post-ruminal de las grasas; Martínez *et al.*, 2010.

1.2.4. Factores asociativos que afectan la digestión de las grasas

De acuerdo con lo reportado por Plascencia *et al.*, (2005), existen varios factores que pueden afectar la digestión de los ácidos grasos en los rumiantes, como lo son: el tipo o fuente de grasa, su contenido de ácidos grasos libres, el grado de saturación, el método y el nivel de adición.

1.2.4.1. Tipo o fuente de grasa

Plascencia *et al.*, (2005), menciona que, los lípidos de los forrajes se encuentran principalmente en forma de ácidos grasos poliinsaturados esterificados como galactosilglicéridos. Su concentración de ácidos grasos en esta forma rara vez supera el 1.5% de la materia seca de la dieta. Por el contrario, los ácidos grasos contenidos en cereales, semillas oleaginosas y grasas libres son variables, más elevados y en forma de triglicéridos. Son diversas las fuentes de grasa que son utilizadas en la

alimentación de rumiantes. Éstas difieren principalmente en contenido de impurezas, de ácidos grasos libres (AGL) y en el grado de saturación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición química promedio de las principales grasas comerciales utilizadas en la alimentación animal

Concepto	Grasa Amarilla ¹	Sebo de Res ²	Mezcla Animal-Vegetal ³	Extractos de Jabón ⁴	Sales de Calcio ⁵	Grasa de Trampa ⁶
Humedad	0.40	0.12	0.88	1.40	-----	1.63
Impurezas	0.22	0.08	0.56	4.90	-----	3.00
Materia Insaponificable	0.71	0.31	3.88	3.46	-----	0.59
Valor de Iodo	82.06	54.04	67.16	102.6	-----	75.2
Ácidos Grasos Totales	92.60	92.48	92.90	85.7	81.3	94.6
Ácidos Libres	13.95	7.80	51.0	54.8	-----	50.4
Perfil de AG,%						
Palmitico C 16:0	18.03	25.23	22.30	21.5	49.80	17.56
Esteárico C 18:0	10.32	15.73	13.70	6.00	4.03	11.00
Oleico C 18:1	46.88	42.18	35.50	26.5	36.30	46.50
Linoleico C 18:2	17.16	5.26	18.70	40.2	7.46	13.20
Linolénico C 18:3	1.42	0.47	1.55	3.10	0.30	1.10

¹ Zinn, 1992a; Krehbiel *et al.*, 1995; Plascencia *et al.*, 1999; Zinn *et al.*, 2000; Ramírez y Zinn, 2000.

² Palmquist, 1991; Clary *et al.*, 1993; Elliot *et al.*, 1997; Beam, 2000.

³ Zinn, 1989; Wu *et al.*, 1991.

⁴ AFOA, 1999; Bock *et al.*, 1991; Zinn, 1992b.

⁵ Coppock and Wilks, 1991; Klusmeyer y Clark, 1991; Zinn y Plascencia, 1992.

⁶ Análisis comparativo, 2020.

1.2.4.2. Cantidad de ácidos grasos libres

Los ácidos grasos libres (AGL) son ácidos grasos no esterificados con glicerol, por lo que, si consideramos la composición química de los triglicéridos, el glicerol es un diluyente del contenido neto de energía, por lo que se cree que al incrementarse el contenido de ácidos libres en una fuente de grasa se espera que el contenido energético se aumente de la misma manera. Sin embargo, el efecto del nivel de AGL en la dieta sobre el comportamiento productivo ha sido estudiado en la mayoría de las especies, especialmente en pollos de engorda, pero, existen indicios en rumiantes, en los cuales los AGL pueden ser menos digestibles que los triglicéridos (Czerkawski, 1973; Zinn, 1989). En ese sentido, Plascencia *et al.*, (1999), evaluaron la influencia de distintos niveles de AGL adicionada a las dietas para bovinos de engorda sobre la respuesta productiva y digestión de nutrientes. En sus resultados, reportaron que, a pesar de no existir diferencias en la digestibilidad post-ruminal de los AG entre los tratamientos, el incremento del contenido de AGL, aumentó en forma lineal la ganancia

diaria de peso, el consumo y la conversión alimenticia. Este hecho, fue indicio para soportar la hipótesis del efecto de dilución del glicerol presente en las grasas con altas concentraciones de triglicéridos utilizado en no rumiantes (Hamilton, 2002). Sin embargo, una de las características de los lípidos que ingresan en el intestino en rumiantes es que en su gran mayoría (>85%) son en forma no esterificada, lo que debilita dicha teoría, al menos para esta especie. Una explicación más aceptable dicha por los autores es que, cuando se observan respuestas positivas con grasas de mayor contenido de AGL, inhiben la tasa de biohidrogenación ruminal (Noble *et al.*, 1974), lo que aumenta el flujo al duodeno de ácidos grasos de mayor digestibilidad (insaturados). Sin embargo, esta teoría no ha sido plenamente confirmada.

1.2.4.3. Grado de saturación

Existe una controversia acerca del efecto potencial de la proporción de ácidos insaturados: saturados contenidos en las grasas sobre su valor nutricional para bovinos en engorda. Aunque existe limitada información para ganado de engorda, estudios *in vitro* (Henderson, 1973; Maczulak *et al.*, 1981) han demostrado que los ácidos grasos insaturados juegan un papel más activo en la inhibición de las bacterias ruminales, particularmente las celulolíticas. En general, con el incremento de saturación de una fuente de grasa en particular (por ejemplo, mediante hidrogenación) se disminuyen los efectos negativos sobre la fermentación ruminal, pero también se reduce la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos. La atenuación de los efectos de la proporción de insaturados: saturados contenidos en las grasas que comúnmente se adicionan a las dietas para rumiantes se debe principalmente al elevado grado de biohidrogenación que sufren los AG insaturados en su estancia en rumen (Jenkins, 1993). La biohidrogenación ruminal es el mecanismo mediante el cual los microorganismos ruminales saturan los AG insaturados C18 hasta esteárico (Polan *et al.*, 1964), aumentando de esta manera la cantidad de AG saturados que llega al intestino. La biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados, es un mecanismo para reducir su toxicidad contra las bacterias, ya que por sus características poseen una acción detergente para la membrana celular microbiana (Garnsworthy, 2002).

1.2.4.4. Método de adición

Plascencia *et al.*, 2005, mencionan que, debido a sus características físicas las grasas tienden a formar una capa o cubierta en las partículas alimenticias, principalmente fibra. De hecho, aproximadamente un 80% del total de lípidos en rumen está en forma asociada a partículas y de 40 a 75% de las bacterias está adherido a las partículas alimenticias. Esto hace que, por sus propiedades hidrófobas, las grasas por cubrimiento físico puedan ejercer un efecto inhibitorio a la acción enzimática bacteriana interfiriendo en los procesos normales de fermentación y afectando, por efectos asociativos, el valor nutricional de las grasas alimenticias.

1.2.4.5. Nivel de adición

Las recomendaciones para el uso de grasas alimenticias para dietas de rumiantes indican que éstas no deben exceder el 8% de la dieta (grasa total de la dieta), puesto que se han observado efectos detrimentales sobre el consumo y la eficiencia alimenticia cuando la grasa se incluye en niveles. Sin embargo, las restricciones prácticas para su óptima utilización no han sido aún resueltas, ya que se han registrado casos negativos en comportamiento productivo con niveles de inclusión igual o menor al 3% mientras que niveles de 8% han conducido a ganancias y conversiones superiores con relación a animales no suplementados (Zinn, 1989a). Sin embargo, el principal factor que afecta la digestibilidad de la grasa alimenticia en rumiantes es su nivel de consumo (Plascencia *et al.*, 2005)

1.2.5. Principales fuentes de grasa y aceites en la alimentación de rumiantes

Las grasas y aceites se usan en dietas de rumiantes por tres razones: 1) El alto valor calórico de los lípidos puede ser útil para superar las limitaciones de energía, suministro en rumiantes de alto rendimiento. 2) Los lípidos pueden usarse para manipular la digestión y absorción de diferentes nutrientes. Por ejemplo, las grasas pueden limitar la acidosis ruminal y contenido de grasa de leche deprimido resultante de dietas bajas en fibra y carbohidratos. La ingesta de lípidos también puede alterar la proporción de ácidos grasos particulares en la carne o la grasa láctea más deseable para la industria alimentaria o para consumo por humanos. 3) Algunos lípidos

vegetales o animales son insumos de bajo precio que puede ser de interés en la formulación de dietas para rumiantes (Chilliard *et al.*, 1993).

La grasa de la dieta tiende a disminuir la concentración de amoníaco en el rumen sin modificar el flujo duodenal de nitrógeno no amoniacal. A pesar de ello no reduce la síntesis de proteína microbiana a nivel ruminal. El uso de grasa mantiene constante la concentración energética de las dietas reduciendo al mismo tiempo el aporte de almidón fermentable, y con ello el riesgo de acidosis ruminal por la fermentación de los carbohidratos no estructurales de los cereales y la producción de ácidos grasos volátiles los cuales acidifican el medio (Palmquist, 1996).

1.2.5.1. Lípidos en forrajes

Los lípidos en los forrajes presentan un rango entre 30 a 100 mg/kg de MS, los cuales se encuentran en su mayoría en los cloroplastos. El contenido de lípidos en los cloroplastos varía entre un 22 y 25% de la materia seca, y están presentes principalmente como glicolípidos y fosfolípidos. La composición de los lípidos en los forrajes está dada por un 33% de lípidos simples (di glicéridos, ácidos grasos libres y ceras), 50% como galactolípidos (mono y digalactogliceridos) y un 17% como fosfolípidos (Bauchart *et al.*, 1984).

Elgersma *et al.*, 2004, mencionaron que, las fuentes de variación en la concentración de lípidos están dadas por las especies de plantas, estado de crecimiento, temperatura e intensidad de la luz. Además, existen cinco ácidos grasos presentes de manera mayoritaria en los pastos, y aproximadamente 95% consisten de C18:3 n³, C18:2 n⁶ y C16:0. Los ácidos linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3), son los substratos de 18 carbonos para la biohidrogenación ruminal y posterior incorporación en forma de ALC en la leche. Los forrajes frescos contienen una alta proporción (50-75%) de ácidos grasos en forma de C18:3 n³, y dicho contenido varía con factores ambientales tales como: estado de madurez, estacionalidad e intensidad de luz. El contenido de ácidos grasos en los forrajes es importante para la calidad de los productos derivados de los rumiantes.

1.2.5.2. Grasa Amarilla

El término de "amarilla" se debe a su apariencia. También se le conoce como grasa de restaurante o grasa de cocina, ya que su origen es de cualquier combinación de los desperdicios o sobrantes de grasas y aceites colectados en cafeterías, restaurantes de comida rápida y panaderías. Como resultado de cocinar cada vez más con aceites vegetales, la mayor parte de grasa amarilla recuperada es de origen vegetal que ha sido parcialmente hidrogenada para un mejor desempeño en el proceso de cocinado, de tal forma que la proporción de insaturados: saturados es de 2.6 aproximadamente. Debido a la diversidad de sus fuentes, la grasa amarilla no es muy uniforme en su composición y puede variar de un área a otra, o de una planta a otra. De acuerdo con los parámetros establecidos por la Asociación Americana de Grasas y Aceites (AFOA, 1999), su punto de fusión debe ser menor a 40 °C y no debe contener más de 15% de AGL y un máximo de 2% de impurezas (Plascencia *et al.*, 2005).

1.2.5.3. Sebo

El sebo o grasa animal es un subproducto derivado principalmente de desperdicios de carne y vísceras, mayormente de ganado vacuno. Este tipo de grasa se caracteriza por una mayor uniformidad, además de presentar un alto punto de fusión (>40°C) y un menor contenido de humedad e impurezas (<1,5%) así como de AGL, en comparación con otras fuentes de grasas (Zinn y Plascencia, 2004).

1.2.5.4. Grasas mezcladas

Las grasas mixtas son mezclas con diferentes proporciones de grasas de origen animal, aceites vegetales, así como aceites acidulados y subproductos de refinería. De la misma forma que la grasa amarilla, las mezclas no son uniformes en su composición; de hecho, su composición es aún más variable, por lo que es difícil caracterizarla de una manera generalizada. Aun así, comparada con la grasa amarilla, es de apariencia más oscura y con un contenido mayor de AGL y materia insaponificable, tendiendo a poseer un valor de yodo más alto. Las características típicas de calidad para esta fuente de grasa son 90% mínimo de ácidos grasos totales (AGT) y niveles máximos de 50% de AGL, 3,5% de insaponificables, 1,5% de humedad y 1% de impurezas (Zinn, 1989).

1.2.5.5. Extractos de jabón

De acuerdo con lo mencionado por Plascencia *et al.*, 2005, son subproductos que derivan de los procesos de la refinación de aceites comestibles. La composición de ácidos grasos es muy similar a la fuente original, pero con más contenido de AGL (>50%).

1.2.5.6. Grasa de trampa

Es obtenida en las trampas del desagüe de cocinas de cafeterías y restaurantes. Este tipo de grasa se ha incrementado en el mercado en los últimos años como resultado de recientes regulaciones medioambientales que indican que la grasa que se vierte al caño por error debe ser recuperada y reciclada. La composición es muy similar a la grasa amarilla, pero contiene tres veces más AGL (Plascencia *et al.*, 1999).

1.2.6. Factores intrínsecos que afectan el valor energético de las grasas

Excluyendo las interacciones asociativas, el valor de EN de las grasas alimenticias es una función altamente relacionada con su digestibilidad intestinal. Por lo anterior, una gran atención se ha dirigido para comprender los factores intrínsecos (naturaleza y calidad de la grasa) que afectan o inciden sobre el valor energético de las grasas y aceites utilizado como fuentes de energía en dietas de finalización, las principales características de mayor consideración son, por ejemplo, la fuente y tipo de grasa, la cantidad de ácidos grasos libres, así como la proporción de ácidos grasos saturados: insaturados, influye de manera directa sobre su valor energético. Es importante notar que la estructura fundamental de los lípidos son los ácidos grasos (ag) que de acuerdo con la longitud de su cadena determina su mecanismo de absorción y transporte. Los ag de cadena corta se absorben a través del epitelio ruminal, así como a nivel intestinal y utilizan vía porta mientras que los de cadena larga se absorben solo a nivel intestinal y requieren de la vía linfática para su transportación. Debido al proceso de hidrólisis y emulsificación que requieren sufrir los ag de cadena larga previamente para su absorción, sus características estructurales tienen un fuerte impacto en su valor energético y por lo tanto en la productividad animal. En ese sentido, la longitud de la cadena, así como el grado de saturación modifica las propiedades físicas (carácter anfipático y punto de fusión) de los lípidos, lo cual afecta en forma importante su

potencial de hidrólisis y de absorción. Normalmente los aceites tienen una mayor proporción de ag insaturados que las grasas y es lo que los mantiene líquidos a temperatura ambiente, mientras que las grasas tienen una mayor cantidad de ag saturados y es lo que las vuelve sólidas (Plascencia *et al.*, 2005).

1.2.7 Factores extrínsecos que afectan el valor energético de las grasas

Los factores extrínsecos (método de adición y nivel de consumo) principalmente afectan el valor como alimento animal, respecto al método de adición. Por otra parte, el nivel de consumo afecta directamente la digestibilidad de la grasa, a mayor nivel de inclusión menor es la eficiencia de utilización intestinal de los ácidos grasos, principalmente los saturados (C16:0 y C18:0) la principal limitante en la digestibilidad sucede cuando la cantidad de los lípidos que llegan al duodeno sobrepasa la capacidad enzimática intestinal y, por consiguiente, su absorción (Bauchart, 1993).

1.3 CONCLUSIONES

1. La adición de grasas a las dietas para el ganado dentro de la producción intensiva en corral es una práctica cada vez más común para incrementar el nivel energético de la dieta reduciendo la cantidad de grano ofrecida, motivo por el cual es necesario evaluar independientemente de la fuente y la forma de adición de grasa a la dieta, el valor nutricional de las grasas.

2. Desde un punto de vista nutricional, por ejemplo, permiten incrementar la concentración energética de la dieta, reducen el estrés calórico y por su menor incremento de calor, mejoran la eficacia energética neta por kcal de energía metabolizable; además, todas las grasas presentan una serie de ventajas no estrictamente nutricionales que hacen conveniente su inclusión en la alimentación de rumiantes, por ejemplo, las grasas controlan la formación de polvo y mejoran la palatabilidad, el consumo, la estructura y el aspecto del alimento. Además, lubrican la maquinaria lo que permite mejorar su rendimiento (caso de la granuladora) y su vida útil.

3. Tomando en cuenta que, existen múltiples factores tanto intrínsecos como extrínsecos que pueden afectar la digestión y absorción de los ácidos grasos en rumiantes, las grasas y aceites pueden mejorar el aprovechamiento de ciertos ingredientes de las dietas de finalización, pero, esto estará supeditado principalmente a ciertos factores como lo son el tipo o fuente de grasa, el contenido de ácidos grasos libres, el grado de saturación, método de adición y nivel de adición.

CAPÍTULO 2. RESIDUOS DE TRAMPAS DE GRASA (GRASA DE TRAMPA) COMO INGREDIENTE EN DIETAS PARA CORDEROS EN FINALIZACIÓN: RESPUESTA PRODUCTIVA, ENERGÍA DE LA DIETA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.

ARTÍCULO 1

Grease trap waste (griddle grease) as a feed ingredient for finishing lambs: growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics

Jorge L. Ramos-Méndez^a, Alfredo Estrada-Angulo^a, Miguel A. Rodríguez-Gaxiola^a, Soila M. Gaxiola-Camacho^a, Christian Chaidez-Álvarez^b, Olga M. Manríquez-Núñez^b, Alberto Barreras^b, Richard A. Zinn^c, Jorge Soto-Alcalá^d, and Alejandro Plascencia^{d*}.

^a Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Blv. San Ángel, CP 80260, Sinaloa, México

^b Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Km 4.5 carretera Mexicali-San Felipe, CP 21386, Mexicali, Baja California, México.

^c Animal Science Department, University of California, Davis 95616.

^d Departamento de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Occidente, Av. Universidad S/N, Flamingos, CP 81048, Guasave, Sinaloa, México.

* Corresponding author E-mail address: aplas_99@yahoo.com (A. Plascencia)

Publicado en: Canadian Journal of Animal Science 101: 257-262 (2021)

DOI: [dx.doi.org/10.1139/cjas-2020-0102](https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0102)

Grease trap waste (griddle grease) as a feed ingredient for finishing lambs: growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics

Jorge L. Ramos-Méndez, Alfredo Estrada-Angulo, Miguel A. Rodríguez-Gaxiola, Soila M. Gaxiola-Camacho, Christian Chaidez-Álvarez, Olga M. Manriquez-Núñez, Alberto Barreras, Richard A. Zinn, Jorge Soto-Alcalá, and Alejandro Plascencia

Abstract: Forty-eight (37.7 ± 3.4 kg, initial shrunk live weight) lambs were used in a 61 d experiment to evaluate the energy value of grease trap waste (GT) at four levels of supplementation (0%, 2%, 4%, and 6%). Supplemental GT replaced cracked corn in the basal diet. The GT contained 6.4% moisture, 3.1% impurities, and 79.8% total fatty acids (FA). Increasing GT level in diets did not affect dry matter intake and daily weight gain but linearly increased gain efficiency and estimated dietary net energy (NE). However, the ratio of observed-to-expected diet NE decreased with increased levels of GT. The estimated NE values for GT based on FA intake were in close agreement (98% and 102% of predicted, respectively) with those NE values determined by replacement technique for 2% and 4% supplementation level. However, the observed NE value for GT supplemented at the 6% level was 9% lower than predicted. Kidney–pelvic–heart fat increased as level of GT supplementation increased; otherwise, carcass characteristics and shoulder composition were not affected. We conclude that GT is a suitable alternative to conventional feed fats in diets for finishing lambs. The estimated NE of GT is 93% the energy value assigned by current standards for tallow and yellow grease.

Key words: recycled fats, dietary energy, finishing lambs, performance, carcass.

Résumé : Quarante-huit agneaux ($37,7 \pm 3,4$ kg, poids corporel initial réduit) ont été utilisés dans une expérience de 61 j afin d'évaluer la valeur d'énergétique des déchets provenant des collecteurs de graisse (GT — « grease trap waste ») à raison de 4 niveaux de supplémentation (0 %, 2 %, 4 %, et 6 %). Les suppléments de GT remplaçaient le maïs concassé dans la diète de base. Le GT contenait 6,4 % d'humidité, 3,1 % d'impuretés, et 79,8 % d'acides gras (FA — « fatty acids ») totaux. Augmenter le niveau de GT dans les diètes n'a pas eu d'effet sur la consommation des matières sèches et le gain de poids quotidien, mais a augmenté de façon linéaire le gain en efficacité et l'énergie nette (NE — « net energy ») alimentaire estimée. Par contre, le rapport NE observée à attendue de la diète a diminué avec l'augmentation du niveau de GT. Les valeurs estimées de NE pour le GT selon la consommation de FA avaient une concordance étroite (98 % et 102 % des chiffres prévus, respectivement) avec ces valeurs de NE déterminées par la technique de remplacement pour les niveaux de supplémentation de 2 % et 4 %. Par contre, la valeur de NE observée pour les suppléments de GT à raison de 6 % était 9 % plus faible que prévue. Le gras rein–bassin–cœur a augmenté à mesure que le niveau de supplémentation en GT augmentait; autrement, il n'y a pas eu d'effet sur les caractéristiques de carcasse et la composition de l'épaule. Nous concluons donc que le GT est un choix acceptable aux gras alimentaire traditionnels dans les diètes des agneaux en finition. Le NE estimé du GT est de 93 % de la valeur énergétique assignée selon les normes actuelles pour le suif et la graisse jaune. [Traduit par la Rédaction]

Mots-clés : gras recyclés, énergie alimentaire, agneaux en finition, performance, carcasse.

Received 22 June 2020. Accepted 31 August 2020.

J.L. Ramos-Méndez, A. Estrada-Angulo, M.A. Rodríguez-Gaxiola, and S.M. Gaxiola-Camacho. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Sinaloa, México.

C. Chaidez-Álvarez, O.M. Manriquez-Núñez, and A. Barreras. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México.

R.A. Zinn. Department of Animal Science, University of California Davis, One Shields Avenue, Davis, CA 95616, USA.

J. Soto-Alcalá and A. Plascencia. Departamento de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Occidente, Sinaloa, México.

Corresponding author: A. Plascencia (emails: aplas_99@yahoo.com; alejandro.plascencia@uadeo.mx).

Copyright remains with the author(s) or their institution(s). Permission for reuse (free in most cases) can be obtained from copyright.com.

Introduction

Due to increasingly stringent environmental regulations, restaurants and cafeterias place traps in the rinse water lines to collect grease (Food Safety and Inspection Services 2016). When recycled separately, this material is commonly referred to as “griddle grease” or grease trap waste (GT). In the United States, an estimated 1.8 billion kg·yr⁻¹ of waste fat is recovered as GT (Tran et al. 2016). Grease trap waste has greater concentrations of moisture, impurities, and unsaponifiables [lower total fatty acid (FA) concentration], and approximately three-fold greater free FA concentration than conventional feed fat (tallow/yellow grease; Zinn and Plascencia 2007). Some variation in composition of GT is attributable to the process used for GT recovery and the final process applied before distribution (Henriksson 2016). Plascencia et al. (1999) observed that the estimated net energy (NE) value of GT was 88% that of yellow grease when included as 5% of a finishing diet for feedlot. To our knowledge, there are no reported studies that evaluate nutritional characteristics (acceptability and energy value) of GT in finishing diets for feedlot lambs. The objective of this experiment was to evaluate the feeding value of GT in finishing feedlot lambs based on measures of growth performance, estimated dietary NE, and carcass characteristics.

Materials and Methods

Animal management procedures were conducted within the guidelines of locally approved techniques for animal use and care (NOM-062-ZOO-1999). These regulations are in accordance with the principles and specific guidelines presented in the Guidelines for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching (FASS 2010).

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in the Culiacán, México (24°46'13"N and 107°21'14"W). Culiacán is about 55 m above sea level and has a tropical climate.

Animal, diets, and sample analyses

Forty-eight Pelibuey × Katahdin [21 ± 2 wk of age; 37.7 ± 3.4 kg initial shrunk body weight (SBW)] crossbred intact male lambs were used in a 61 d growth-performance experiment to evaluate a rinse trap griddle grease waste (GT) as a supplemental fat in a corn-based high-energy finishing diet. During the course of the experiment, air temperature averaged 27.8 °C (minimum and maximum of 29.9 and 23.6 °C, respectively) and relative humidity 53% (minimum and maximum of 46.8 and

75.5 °C, respectively). Three weeks before initiation of the experiment, lambs were treated for parasites (Albendazole 10%, Animal Health and Welfare, México City, México), injected with 1 × 10⁶ IU vitamin

A (Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México City, México) and vaccinated for *Mannheimia haemolytica*

(One Shot Pfizer, México City, Mexico). Upon initiation of the experiment, lambs were weighed just prior to the morning meal (electronic scale; TOR REY TIL/S: 107 2691, TOR REY Electronics Inc., Houston, TX, USA), blocked by weight, and assigned within weight groupings to 24 pens (two lambs per pen, six pens per treatment). Pens were 6 m² with overhead shade, automatic waterers, and 1 m fence-line feed bunks. Treatments consisted of GT supplementation at levels of 0%, 2%, 4%, and 6% [dry matter (DM) basis; Table 1], with supplemental GT replacing cracked corn in the basal diet. The GT, obtained from an oil recycling company (Acidulados la Tapatía, S.A. de C.V., Guadalajara, México), contained 6.4% moisture, 3.1% impurities, and 79.8% total FA. Dietary treatments were randomly assigned to pens within blocks. Lambs were reweighed prior to the morning meal on day of harvest. Lambs were provided fresh feed twice daily at 0800 and 1400 in a 30:70 proportion (as fed basis), allowing for a feed residual of refusal of

~50 g·kg⁻¹ daily feed offering. Feed bunks were visually assessed between 0740 and 0750 each morning, and residual feed was collected and weighed. Feed samples were collected daily and composited weekly for DM analysis (oven-drying at 105 °C until no further weight loss; method 930.15, AOAC 2000).

Feed samples were subjected to the following analyses: DM (oven-drying at 105 °C until no further weight loss; method 930.15, AOAC 2000); crude protein (N × 6.25; method 984.13, AOAC 2000), ether extract (method 920.39, AOAC 2000), and neutral detergent fiber [NDF; Van Soest et al. 1991, corrected for NDF-ash, incorporating heat-stable α-amylase (Ankom Technology, Macedon, NY, USA)]. Chemical composition (moisture, impurities, and total FA) of supplemental fat sources were assayed by Industrial Analyses Laboratory (Culiacán, Sinaloa, México).

Calculations

Average daily gain (ADG) was computed by subtracting the initial SBW (full live weight × 0.96; Cannas et al. 2004) from the final SBW and dividing the result by the number of days on feed. The efficiency of SBW gain was computed by dividing ADG by the daily DM intake (DMI). The estimations of dietary NE and expected DMI were performed based on the initial and final SBW. The estimation of expected DMI was performed based on observed ADG and average SBW according to the following equation: expected DMI (kg·d⁻¹) = (EM/NE_m) + (EG/EN_g); where EM (energy required for maintenance, Mcal·d⁻¹) = 0.056 × SBW^{0.75} (NRC 1985); EG (energy gain, Mcal·d⁻¹) = 0.276 × ADG × SBW^{0.75} (NRC 1985); NE_m (net energy of maintenance) and NE_g (net energy of gain) are the corresponding estimated NE values of each treatment (Table 1; derived from tabular values based on the ingredient composition of the experimental diet; NRC 2007). The coefficient (0.276) was estimated assuming a

Table 1. Dietary composition of experimental diets fed to lambs.

GT level (g·kg ⁻¹ of DM)				
Item	0	20	40	60
Ingredient composition (g·kg ⁻¹ of DM)				
Corn grain cracked	670	650	630	610
Sudangrass hay	80	80	80	80
GT ^a	0	20	40	60
Soybean meal	105	105	105	105
Cane molasses	90	90	90	90
Urea	4	4	4	4
Zeolite	3	3	3	3
Mineralized salt ^b	21	21	21	21
Net energy concentration (Mcal·kg ⁻¹ of DM) ^c				
EN _m (Mcal·kg ⁻¹)	1.96	2.04	2.13	2.21
EN _g (Mcal·kg ⁻¹)	1.33	1.40	1.47	1.54
Nutrient composition (g·kg ⁻¹ of DM) ^d				
Crude protein	138.5	136.6	134.8	133.5
NDF	140.6	138.5	136.4	134.0
Ether extract	31.0	45.6	62.0	80.2

Note: DM, dry matter; EN_m, net energy of maintenance; EN_g, net energy of gain; NDF, neutraldetergent fiber; GT, grease trap waste.

^aComposition of GT was (%) moisture = 6.48; impurities = 3.05; total fatty acids = 79.80.

^bMineralized salt contained calcium, 13.58%; sodium, 7.8%; chlorine, 12.2%; phosphorus, 2.2%; magnesium, 1.0%; potassium, 0.7%; CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; zinc oxide, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; potassiumiodide, 0.052%.

^cBased on tabular NE values for individual feed ingredients (NRC 2007), including GT, which has an assumed energy value similar than conventional fats.

^dDietary composition was determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment. Accuracy was ensured by adequate replication with acceptance of mean values that were within 5% of each other.

mature weight of 113 kg for Pelibuey × Katahdin male lambs (Canton and Quintal 2007). Dietary NE was estimated by means of the quadratic formula: $x = (-b$

$- \frac{b^2 - 4ac}{2c}$; where $x = \text{NE}_m$; $a = -0.41 \text{ EM}$; $b = 0.877 \text{ EM} + 0.41 \text{ DMI} + \text{EG}$; and $c = -0.877 \text{ DMI}$ (Zinn et al. 2008).

The estimated NE value of supplemental GT was estimated using the replacement technique. Accordingly, the comparative NE_m values for the supplemental GT at 2%, 4%, and 6% levels of substitution were estimated as NE_m (Mcal·kg⁻¹) of tested GT = [(EN_m observed for each diet containing supplemental GT – EN_m observed for the control diet)/Y] + 2.23. The divisor (Y) represents the amount of supplemental GT in the diet expressed as 0.02, 0.04, or 0.06, and the constant 2.23 represent the NE_m value of the dry cracked corn replaced (NRC 2007). The NE_g value of supplemental GT was derived from their estimated NE_m (Zinn et al. 2008).

Carcass characteristics

All lambs were harvested on the same day. After humane sacrifice, lambs were skinned and the gastrointestinal organs were separated and weighed.

After carcasses (with kidneys and internal fat included)

were chilled in a cooler at –2 to 1 °C for 48 h, the following measurements were obtained: (1) back fat thickness perpendicular to the *m. longissimus thoracis* (LM), measured over the center of the ribeye between the 12th and 13th rib; (2) LM surface area, measured using a grid reading of the cross sectional area of the ribeye between 12th and 13th rib; and (3) kidney, pelvic, and heart fat (KPH). The KPH was removed manually from the carcass and then weighed and reported as a percent- age of the cold carcass weight (USDA 1982). Shoulders were obtained from the forequarter. The weights of shoulder were subsequently recorded. The shoulder composition was assessed using physical dissection (Luaces et al. 2008).

Statistical analyses

Performance, ADG, DMI, gain efficiency, estimated dietary NE, and carcass data were analyzed as a randomized complete block design using pen as the experimental unit. Treatment effects were tested by means of orthogonal polynomials (Statistix 10, Analytical Software, Tallahassee, FL, USA). Treatment effects were considered significant when $P \leq 0.05$, and tendencies were identified when $P > 0.05$ and ≤ 0.10 .

Results and Discussion

Chemical composition of GT is shown as footnote in Table 1. The GT used in the present study had a similar level of impurities (3.0%) to that reported by Plascencia et al. (1999), but it was lower in moisture (0.6% vs. 6.5%) and total FA (79.8% vs. 83.9%). These differences are expected due to plant-to-plant variations in GT recovery process and subsequent handling that affect moisture content (Williams et al. 2012; He et al. 2017). Total FA content is inversely proportional with moisture (Henriksson 2016).

The main objective of this experiment was to evaluate GT as an alternative to conventional supplemental fats used in finishing diets. Due to the limited information about energy value of GT, most comparisons are for conventional fats (i.e., tallow and yellow fat) using energy concepts. The effect of supplemental GT on growth performance and estimated dietary NE are shown in Table 2. Increasing GT level in diets did not affect DMI and ADG. Nevertheless, gain efficiency increased (lineareffect, $P < 0.01$) with increasing level of cracked corn substitution with GT. Lack of treatment effects on DMI confirm that supplementation with GT at levels as high as 6% of diet DM does not affect diet acceptability. Likewise, Plascencia et al. (1999) did not observe a negative effect of 5% supplemental GT on DMI of feedlot cattle. The improvement of gain efficiency with GT is consistent with prior studies evaluating conventional

Table 2. Effect of supplementation level of GT on growth performance, dietary energy, and estimated NE.

Item	GT level (g·kg ⁻¹ diet DM)				SEM	P value	
	0	20	40	60		Linear	Quadratic
Days on test	61	61	61	61	—	—	—
Pen replicates	6	6	6	6	—	—	—
LW (kg) ^a							
Initial	37.83	37.65	37.48	37.72	0.331	0.72	0.54
Final	50.48	49.97	50.08	51.79	0.851	0.31	0.21
Average daily gain (kg)	0.207	0.202	0.206	0.230	0.015	0.29	0.34
Dry matter intake (kg·d ⁻¹)	1.239	1.150	1.135	1.215	0.055	0.73	0.15
Gain to feed (kg·kg ⁻¹)	0.167	0.176	0.181	0.189	0.005	<0.01	0.76
Observed dietary NE (Mcal·kg ⁻¹)							
Maintenance	1.96	2.05	2.10	2.12	0.018	<0.01	0.09
Gain	1.31	1.39	1.43	1.45	0.016	<0.01	0.08
Observed to expected dietary NE ratio							
Maintenance	1.00	1.01	0.98	0.96	0.008	<0.01	0.11
Gain	0.98	0.99	0.97	0.94	0.010	0.01	0.86
Observed to expected daily dry matter intake	1.01	1.00	1.02	1.06	0.010	<0.01	0.09
Estimated GT NE (Mcal·kg ⁻¹)							
Maintenance	—	5.83	5.86	4.99	—	—	—
Gain	—	4.70	4.72	3.97	—	—	—

Note: GT, grease trap waste; NE, net energy; DM, dry matter; SEM, standard error of mean; LW, live weight.

^aInitial LW was reduced by 4% to adjust for the gastrointestinal fill. Final LW was obtained following an 18 h fast without access to feed (access to drinking water was not restricted).

Table 3. Effect of supplementation level of GT on carcass characteristics of lambs.

Item	GT (g·kg ⁻¹ of DM)				SEM	P value	
	0	10	20	30		Linear	Quadratic
Pen replicates	6	6	6	6	—	—	—
Hot carcass weight (kg)	28.83	28.39	28.65	29.58	0.618	0.37	0.29
Dressing percentage	57.10	56.83	57.21	57.16	0.532	0.81	0.84
LM area (cm)	18.64	19.32	18.60	18.94	1.149	0.97	0.88
Back fat thickness (cm)	0.22	0.23	0.24	0.25	0.017	0.30	0.97
KPH (%)	2.99	3.77	4.33	4.56	0.246	<0.01	0.28
Shoulder composition (%)							
Muscle	66.51	66.20	65.34	66.37	0.018	0.79	0.55
Fat	16.51	16.05	16.27	16.11	0.012	0.85	0.90
Muscle to fat ratio	4.08	4.40	4.13	4.44	0.457	0.69	0.99

Note: GT, grease trap waste; DM, dry matter; SEM, standard error of mean; LM, *m. longissimusthoracis*; KPH, kidney–pelvic–heart fat.

supplemental fats in finishing diets for feedlot cattle (Zinn and Plascencia 2007) and finishing lambs (Bhatt et al. 2013). This improvement is expected, reflecting the increase in dietary energy density with fat supplementation. Consistent with observed enhancement in gain efficiency, estimated dietary NE increased with increased levels of GT substitution for corn (linear effect, $P < 0.01$). However, the ratio of observed-to-expected diet NE decreased (linear effect, $P < 0.01$) with increased levels of GT. This effect is expected, in as much as the NE value of dietary fat declines in a linear fashion with increased

levels of supplementation (Zinn and Plascencia 2007), due to the inverse relationship between level of fat intake and intestinal FA digestion (Plascencia et al. 2004). Plascencia et al. (2003) observed that the NE value of fat was closely associated ($r^2 = 0.89$) with level of FA intake: $NE_g \text{ (Mcal}\cdot\text{kg}^{-1}) = [87.56 - 8.59 \times \text{FA intake (expressed as g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ live weight)}] \times 6.03$. The average FA intake in the present experiment were 0.96, 1.28, and 1.74 g·kg⁻¹ live weight for the 2%, 4%, and 6% levels of supplementation, respectively. Accordingly, the corresponding NE_g value of GT is 4.78, 4.61, and 4.38 Mcal·kg⁻¹, respectively. Using the replacement equation, the

estimated NE for maintenance and gain ($\text{Mcal}\cdot\text{kg}^{-1}$) of supplemental GT are 5.83 and 4.70, 5.86 and 4.72, and 4.99 and 3.97, for 2%, 4%, and 6% supplementation level, respectively (Table 2). Thus, the predicted NE values for GT based on FA intake are in close agreement with observed for the 2% and 4% levels of supplementation (98% and 102% of predicted, respectively). However, the observed NE value for GT supplemented at the 6% level was lower (9%) than predicted. Considering that the NE of maintenance and gain of conventional fats in the current standards (NRC 2007) is 6.3 and 5.1 $\text{Mcal}\cdot\text{kg}^{-1}$, at moderate levels of supplementation (up to 4%), the NE of supplemental GT is 93% that of conventional feed fat (i.e., tallow and yellow grease). This slightly lower NE value reflects the greater moisture content and hence lower FA concentration of GT.

Effect of supplemental GT on carcass characteristics and shoulder composition are shown in Table 3. The proportion of KPH increased (linear effect, $P < 0.01$) with increased levels of GT supplementation. Otherwise, carcass characteristics and shoulder composition were not affected by GT inclusion. Likewise, Plascencia et al. (1999) observed increased KPH in feedlot cattle supplemented with 5% GT. Bhatt et al. (2011) and Estrada-Angulo et al. (2017) noted increases in carcass fat, including increased proportion of shoulder fat in finishing lambs supplemented up to 6% with vegetable oil (coconut oil or jatropha oil). Increased carcass fat due to supplementation with conventional fats ($\geq 4\%$ supplementation level) has also been commonly observed in feedlot cattle (Zinn 1989; Nelson et al. 2008).

Conclusions

Grease trap waste is a suitable lower cost alternative to conventional feed fats in diets for finishing feedlot lambs. Inclusion of GT does not appear to affect diet acceptability. However, its chemical composition (total FA and moisture content) should be considered. As will all supplemental fats, the NE value of GT is a function of its total FA concentration. The estimated NE of GT is 93% the energy value assigned by current standards (NRC 2007) for tallow and yellow grease.

Conflict of interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official methods of analysis. 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.

Bhatt, R.S., Soren, N.M., Tripathi, M.K., and Karim, S.A. 2011. Effects of different levels of coconut oil supplementation on performance, digestibility, rumen fermentation and carcass traits of Malpura lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 164: 29–37. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.11.021.

Bhatt, R.S., Karim, S.A., Sahoo, A., and Shinde, A.K. 2013. Growth performance of lambs fed diets supplemented with

rice bran oil as such or as calcium soaps. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 26: 812–819. doi:10.5713/ajas.2012.12624.

Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., and Van Soest, P.J. 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82: 149–169. doi:10.2527/2004.821149x. PMID:14753358.

Canton, J.G., and Quintal, J.A. 2007. Evaluation of growth and carcass characteristics of pure Pelibuey sheep and their cross with Dorper and Katahdin breeds. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 1): 581 (Abstr.).

Estrada-Angulo, A., Félix-Bernal, J.A., Angulo-Escalante, M.A., Muy-Rangel, D., Castro-Pérez, B.I., Ríos, F.G., et al. 2017. Effect of oil supplementation extracted from nontoxic purg-ing nut (*Jatropha curcas* L) on carcass traits, tissue composition, muscle CLA concentration, and visceral mass of feedlot lambs. *Austral J. Vet. Med.* 49: 1–7. doi:10.4067/s0719-81322017000100001.

Federation of Animal Science Societies (FASS). 2010. Guide for the care and use of agricultural animals in agricultural research and teaching. 3rd ed. FASS, Champaign, IL, USA.

Food Safety and Inspection Service (FSIS). 2016. Sanitation performance standards compliance. United States of Department of Agriculture (USDA), Washington, DC, USA. [Online]. Available from <https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/food/safety/inspection/service/topics/regulatory-compliance/compliance-guides-index/sanitation-performance-standards/sanitation-compliance-guide>.

He, X., de los Reyes, F., and Ducoste, J. 2017. A critical review of fat, oil and grease (FOG) in sewer collection system: challenges and control. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 47: 1191–1217. doi:10.1080/10643389.2017.1382282.

Henriksson, J. 2016. Characterization of composition of the fat-rich residues from grease separators. Degree project report. Linnaeus University, Sweden. [Online]. Available from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944380/FULLTEXT01.pdf>.

Luaces, M.L., Calvo, C., Fernández, B., Fernández, A., Viana, J.L., and Sánchez, L. 2008. Ecuaciones predictoras de la composición tisular de las canales de corderos de raza gallega. *Arch. Zootec.* 57: 3–14.

Nelson, M.L., Busboom, J.R., Ross, C.F., and O'Fallon, J.V. 2008. Effects of supplemental fat on growth performance and quality of beef from steers fed corn finishing diets. *J. Anim. Sci.* 86: 936–948. doi:10.2527/jas.2007-0410. PMID:18192553.

National Research Council (NRC). 1985. Nutrient requirement of sheep. 6th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.

National Research Council (NRC). 2007. Nutrient requirement of small ruminant: sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academy Press, Washington, DC, USA.

Norma Oficial Mexicana (NOM). 1999. NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF> (3 Apr. 2019).

Plascencia, A., Estrada, M., and Zinn, R.A. 1999. Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 77: 2603–2609. doi:10.2527/1999.77102603x. PMID:10521018.

Plascencia, A., Mendoza, G., Vázquez, C., and Zinn, R.A. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81: 2653–2659. doi:10.2527/2003.81112653x. PMID:14601867.

Plascencia, A., Mendoza, G.D., Vázquez, C., and Zinn, R.A. 2004. Influence of levels of fat supplementation on bile flow and fatty acid digestion in cattle. *J. Anim. Vet. Adv.* 3: 763–768.

Tran, N.N., Ho, P.Q., Hall, T., McMurchie, E.J., and Ngothai, Y. 2016. Extraction of fats, oil, and grease trap waste for

biodiesel production. 6th International Symposium. Conference on Energy Biomass and Waste. Venice, Italy.

United State Department of Agriculture (USDA). 1982. Official United States standards for grades of carcass lambs, yearling mutton and mutton carcasses. Agric. Marketing.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597. doi:[10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2). PMID:[1660498](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1660498/).

Williams, J.B., Clarkson, C., Mant, C., Drinkwater, A., and May, E. 2012. Fat, oil and grease deposits in sewers: characterization of deposits and formation mechanisms. *Water Res.* 46: 6319-6328. doi:[10.1016/j.watres.2012.09.002](https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.002).

Zinn, R.A. 1989. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: feedlot cattle growth and performance. *J. Anim. Sci.* 67: 1029-1037. doi:[10.2527/jas1989.6741029x](https://doi.org/10.2527/jas1989.6741029x). PMID:[2715108](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2715108/).

Zinn, R.A., Barreras, A., Owens, F.N., and Plascencia, A. 2008. Performance by feedlot steers and heifers: daily gain, mature body weight, dry matter intake, and dietary energetics. *J. Anim. Sci.* 86: 2680-2689. doi:[10.2527/jas.2007-0561](https://doi.org/10.2527/jas.2007-0561). PMID:[18539825](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18539825/).

Zinn, R.A., and Plascencia, A. 2007. Feed value of supplemental fats used in feedlot cattle. Pages 247-268 in H.L. Hollis and K.C. Olson, eds. *Veterinary clinics of North America: food animal practice*. Elsevier, Mosby Saunders, Philadelphia, PA, USA.

CAPÍTULO 3. VALOR ENERGÉTICO DE LA GRASA RECUPERADAS DE TRAMPAS DE VERTEDERO (GRASA DE TRAMPA) EMPLEADA COMO FUENTE DE GRASA EN DIETAS DE FINALIZACIÓN EN CORDEROS.

ARTÍCULO 2

Comparative energy value of cooked grease recovered from rinse-trap water lines (grease trap waste) used as dietary fat source of finishing lambs

Alfredo Estrada-Angulo¹, Jorge L. Ramos-Méndez¹, Jesús D. Urías-Estrada¹, Beatriz I. Castro-Pérez¹, Alberto Barreras², Richard A. Zinn³, Luis Corona⁴, Xiomara P. Perea-Domínguez⁵, Iván G. Martínez-Alvarez⁵, Alejandro Plascencia⁶.

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, México.

²Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.

³Department of Animal Science, University of California, Davis, 95616.

⁴Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Col. CU, Coyoacán, CP 04510, Cd. De México, México

⁵Departamento de Salud, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Sinaloa, México

⁶Departamento de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Sinaloa, México.

*Corresponding author: Alejandro Plascencia

Email: aplas_99@yahoo.com; alejandro.plascencia@uadeo.mx

Enviado a revisión en: International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture

3.1. Abstract

Purpose The objective of this experiment was to compare the effects of diet supplementation with cooking grease recovered from rinse-trap water lines (rinse-trap grease; RTG) versus conventional supplemental fats (tallow; TL, and yellow grease; YG) on 84-d growth performance, dietary energy, and carcass traits of feedlot lambs. **Method** Forty-eight Pelibuey × Katahdin lambs (27.7 ± 3.4 kg) were assigned in a randomized complete block design to evaluate: 1) basal diet without supplemental fat (Control); 2) 4% TL; 3) 4% YG, and 4) 4% RTG. Supplemental fats replaced corn in the control diet. **Results** Rinse trap grease contained greater moisture (16.5 vs 0.92%) and impurities (3.6 vs 0.56%), and less total fatty acid (64.90 vs 89.60%) than that of conventional fats (TL and YG). Daily weight gain and gain efficiency were similar for control and RTG supplemental lambs, whereas, ADG and gain efficiency were greater for lambs fed conventional fats vs control or RTG supplemented lambs. Both dietary net energy (NE) as well as ratio of observed- to-expected dietary NE were 4% greater for lambs supplemented with conventional fats vs RTG. Supplemental fat increased fat deposition, but did not affect any other carcass measures or non-fat visceral mass. Estimated NE value for RTG was 57% of the average NE value (6.11 Mcal/kg) of tested conventional fats. **Conclusion** Supplementation with RTG does not affect diet acceptability, and accordingly, is a suitable energy source for feedlot lambs. However, due to its lower total fatty acid content, its energy value is much lower than conventional supplemental fats.

Key words: Feedlot, Recycled fat, Conventional feeding fats, Growth performance, Dietary energy, Carcass.

3.2. Introduction

Environmental regulations regarding disposal of fat and oil residues are increasingly rigorous (Sheinbaum *et al.*, 2015), prompting a more widespread recycling of fatty waste for use as feed supplements (Abdel-Shafy and Mansour, 2018). Presently, the more common recycled fats fed to livestock are tallow (TL) and yellow grease (YG). When priced competitively with dry rolled corn (energy value= 2.23 Mcal NEm/kg; NRC 2007), the main source of energy for ruminants diets in Mexico and USA, tallow and yellow grease (energy value = 6.30 and 5.80 Mcal ENm/kg for YG and TL, respectively; NRC 2007) are suitable and generally less expensive energy sources. Currently, a large number of restaurants and cafeterias place traps in the rinse water lines to collect grease, and reduce pollution of waste water (Sheinbaum-Pardo *et al.*, 2013, Wang and Wang, 2013). When recycled separately for use in animal feed, this rinse trap grease (RTG) is also referred to as “griddle grease”. Due to the collection and handling process, RTG has a characteristically greater content of impurities and moisture, and a markedly lower total fatty acid content than conventional dietary fats (Hums *et al.* 2018; Ramos-Méndez *et al.*, 2021). It is well known that fat quality (moisture, impurities and total fatty acids content) affects its energy value (Zinn and Jorquera, 2007). Previously, Ramos-Mendez *et al.* (2021), evaluated the energy value of RTG included at different levels of supplementation (0, 2, 4 and 6% of dietary DM) in high-energy cracked-corn based diet for feedlot lambs. Applying the replacement equation (using observed NE value of non-supplemented diet and dry corn grain as reference), researcher estimated that the NE value of RTG at levels up to 4% of diet DM was 0.93 when compared to the assigned net energy for supplemental fats published by NRC (2007). When RTG was included at 6% of diet DM, the NE of RTG was 0.79 of expected. The lower NE for RTG at 4% level of supplementation was attributed to its lower FA content. The greater depression in NE of RTG at the 6% level of supplementation was attributed to potential negative associative effects on characteristics of digestion. Therefore, Ramos-Méndez *et al.*, (2021) recommended that the level of RTG supplementation should not exceed 4% of diet DM. When RTG was compared with conventional fats supplemented at 4% of diet DM fed to feedlot cattle, the comparative NE value of RTG was 0.70 that of TL and YG (Ramirez and

Zinn, 2000). In Mexico and USA, RTG is less expensive than tallow and yellow grease. However, RTG has much greater variation in moisture and total fatty acid content than conventional fats (Hums *et al.*, 2018). Variation in composition of RTG is attributable to differences in fatty acid recovery among processing (Henriksson 2016). To our knowledge, no information is available in which the energy value of RTG was assessed by direct comparison with conventional supplemental fats (yellow grease and tallow) in long-term fattening of lambs receiving a high-energy diet. For this reason, the objective of this experiment was to evaluate the comparative feeding value of cooking grease recovered from rinse-trap water lines (rinse trap grease) versus tallow and yellow grease (positive control), and no supplemental fat (negative control), on growth performance, dietary net energy, carcass characteristics, tissue composition and visceral mass of finishing lambs.

3.3. Materials and Methods

All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally-approved techniques for animal use and care (NOM 1995, 1999) and approved by the Ethics Committee of Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics from the Autonomous University of Sinaloa (Protocol #7042019). This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in the Culiacán, México (24° 46' 13" N and 107° 21' 14"W). Culiacan is about 55 m above sea level, and has a tropical climate. The average ambient temperature and relative humidity during the course of the experiment were 29.5 °C, and 46.7%, respectively.

3.3.1. Animal, diets, and samples analyses

Forty-eight Pelibuey × Katahdin crossbred intact male lambs (27.7 ± 3.4 kg initial average shrunk body weight) were used in an 84-d growth-performance experiment to evaluate a cooked grease recovered from rinse-trap water lines (also referred to as “griddle grease”) used as a supplemental fat included in a corn-based high-energy diet for finishing lambs. Four weeks before initiation of the experiment the lambs were treated against parasites (Closantel oral; 7 mg/kg LW, CLOSANTIL® 5%, Laboratorio Chinoín, Mexico, City, Mexico), injected with 2 mL vitamin A (500,000 IU, Synt-ADE®,

Zoetis México, México City), and vaccinated against *Mannheimia haemolytica* (One Shot Ultra Zoetis México, México City). Upon initiation of the experiment, lambs were weighed before the morning meal (electronic scale; TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY Electronics Inc., Houston TX, USA). Lambs were blocked by initial weight (6 blocks) and assigned to 24 pens, two lambs/pen (6 pens/treatment). Pens were 6 m² with overhead shade, automatic waterers and 1 m fence-line feed bunks. The maximal total fat (from basal ingredients plus added fat) content recommended for feedlot diets is 8.0% (Vasconcelos and Galyean 2007; Zinn and Jorquera 2007). We chose to evaluate RTG at 4% of diet DM, as Ramos-Méndez et al. (2021) observed that the NE value of supplemental RTG markedly declined as level of supplementation greater than 4% of diet DM. Dietary treatments consisted of a dry rolled corn-based finishing diet supplemented with: 1) 0% fat (Control); 2) 4% tallow (TL); 3) 4% supplemental yellow grease (YG), and 4) 4% grease trap waste (RTG). Composition of experimental diets are shown in Table 1. Supplemental fats replaced corn in a total mixed diet. Supplemental fats were obtained from a single recycling company (Acidulados la Tapatía, S.A. de C.V., Guadalajara, México). Supplemental fats were added to the mixer prior to adding molasses (last added ingredient) in diet preparation. Once all the ingredients were included in the mixer, the diets were mixed for 5 to 7 min. Chemical characteristics of fat sources used are described as a footnote in Table 1. Dietary treatments were randomly assigned to pens with blocks. Initial live weights were obtained just prior to the morning meal. Live weights (LW) on days 1 was converted to shrunk body weight (SBW) by multiplying LW by 0.96 to adjust for the gastrointestinal fill (Cannas et al., 2004). All lambs were fasted (drinking water was not withdrawn) for 18 h before recording the final LW (day 84). Lambs were provided fresh feed twice daily at 0800 and 1400 h in 30:70 proportion, allowing for a daily feed residual of refusal of ~50 g per lamb. Residual feed was collected between 0740 and 0750 h each morning and weighed. Adjustments to either increase or decrease daily feed delivery were provided in the afternoon feeding. Feed samples were collected from each elaborated batch. Daily feed refusal composited weekly for dry matter analysis (DM; oven drying at 105°C until no further weight loss; method 930.15, AOAC 2000). Feed samples were subjected to the following analyses: DM (oven drying at 105°C until no further weight

loss; method 930.15; AOAC, 2000); CP (N \times 6.25, method 984.13; AOAC, 2000), ether extract (method 920.39; AOAC, 2000), and NDF [Van Soest *et al.*, 1991, corrected for NDF-ash, incorporating heat stable α -amylase (Ankom Technology, Macedon, NY). Chemical composition (moisture, impurities and total fatty acids) of supplemental fat sources were assayed by an external laboratory (Industrial Analyses Laboratory, Culiacán, Sinaloa, México).

3.3.2. Calculations

Average daily gain (ADG) was computed by subtracting the final shrunk body weight (SBW) from the initial SBW and dividing by the number of days on feed. The gain efficiency was computed by dividing ADG by the daily dry matter intake (DMI; gain-to-feed ratio, GF). One approach for evaluation of the efficiency of dietary energy utilization in growth-performance trials is the ratio of observed-to-expected DMI and observed-to-expected dietary net energy (NE). Based on diet NE concentration and measures of growth performance, there is an expected energy intake. This estimation of expected DMI is performed based on observed ADG, average SBW, and NE values of the diet (Table 1) as follows: expected DMI, kg/d = (EM/NE_m) + (EG/NE_g), where EM (energy required for maintenance, Mcal/d) = 0.056 \times SBW^{0.75}, EG (energy required for gain, Mcal/d) = 0.276 \times ADG \times SBW^{0.75}, and NE_m (diet net energy for maintenance) and NE_g (diet net energy for gain) are corresponding NE values based on the ingredient composition (NRC 2007) of the experimental diet (Table 1). The coefficient (0.276) was taken from NRC (1985) assuming a mature weight of 113 kg for Pelibuey \times Katahdin male lambs (Canton *et al.* 2009). The observed dietary net energy was calculated using EM and EG values, and DMI observed during experiment by means of the quadratic formula: $x = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2c$. Where: $x = \text{NE}_m / 148 \text{ Mcal/kg}$, $a = -0.41\text{EM}$, $b = 0.877 \text{EM} + 0.41 \text{DMI} + \text{EG}$, and $c = -0.877 \text{DMI}$ (Zinn *et al.* 2008). Given that the NE_m value of dry rolled corn is 2.23 Mcal/kg (NRC 2007), the comparative NE_m value for the supplemental fats at 4% level of substitution was determined as follows: NE_m (Mcal/kg) of tested fat = [(NE_m observed for each diet containing supplemental fat – NE_m observed for the Control diet)/0.04] + 2.23. The divisor (0.04) represents the amount of supplemental fat in diet, and the 2.23 represent the NE_m value of dry rolled corn (NRC 2007) replaced by the supplemental fat. The NE_g value of tested fats was derived from

their estimated NEm values as follows: $\text{NEg, Mcal/kg} = 0.877 \text{ NEm} - 0.41$ (Zinn et al. 2008).

3.3.3. Carcass characteristics

All lambs were harvested on the same day. Lambs were stunned (captive bolt), exsanguinated and skinned. Gastrointestinal organs were separated and weighed, the omental and mesenteric fat were weighed, and hot carcass weight (HCW) was recorded. After carcasses chilled in a cooler at -2 to 1°C for 24 h, the following measurements were obtained: 1) cold carcass weight (CCW); 2) subcutaneous fat (fat thickness) taken over the 12th to 13th thoracic vertebrae; 3) Longissimus muscle (LM) surface area, measured using a grid reading of the cross-sectional area of the longissimus muscle between 12th and 13th rib, and 4) kidney, pelvic, and heart fat (KPH) was removed manually and afterward weighed and reported as a percentage of the cold carcass weight (USDA, 1992). The tissue composition of shoulder was assessed using physical dissection by the procedure described by Luaces *et al.*, (2008).

3.3.4. Visceral mass data

Components of the digestive tract (GIT), including tongue, esophagus, stomach (rumen, reticulum, omasum, and abomasum), pancreas, liver, gall bladder, small intestine (duodenum, jejunum, and ileum), and large intestine (caecum, colon, and rectum) were removed and weighed. The GIT was then washed, drained, and weighed to get empty weights. The difference between full and washed digesta-free GIT was subtracted from the SBW to determine empty body weight (EBW). All tissue weights are reported on a fresh tissue basis. Organ mass is expressed as grams of fresh tissue per kilogram of final EBW, where final EBW represents the final live weight minus the total digesta weight. Full visceral mass was calculated by the summation of all visceral components (stomach complex + small intestine + large intestine + liver + lungs + heart+ kidney), including digesta. The stomach complex was calculated as the digesta-free sum of the weights of the rumen, reticulum, omasum and abomasum.

3.3.5. Statistical analyses

Growth performance (ADG, DMI, and gain efficiency), estimated dietary NE and expected DMI, carcass data (characteristics, tissue composition) and visceral mass were analyzed as a randomized complete block design, using pen as the experimental unit according to the following statistical model: $Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + \epsilon_{ij}$, where μ is the common experimental effect, B_i represents initial weight block effect, T_j represent dietary treatment effect, and ϵ_{ij} represents the residual error (SAS 2004). All the data were tested for normality using the Shapiro-Wilk test. Hot carcass weight (HCW) was used as a covariate in evaluation of treatment effects on carcass measures. Treatments effects were tested by means of orthogonal contrasts (SAS Inst., Inc., Cary, NC; Version 9) as follows: 1) no fat vs conventional supplemental fats (TL and YG fat); 2) no fat vs RTG fat, and 3) RTG fat vs conventional supplemental fats (TL and YG fat). In all cases, least squares means and standard error are reported and contrasts were considered significantly when the P value was ≤ 0.05 , and tendencies are identified when the P -value was > 0.05 and ≤ 0.10 .

3.4. Results and Discussion

Yellow grease had a slightly more moisture and impurities than tallow, but very similar total fatty acid content (Table 1). The profiles of TL and YG are consistent with the standards set by American Fats and Oils Association (AFOA, 2020). In contrast, RTG had 17.9-fold greater moisture, 6.4-fold greater impurities, and 27.6% lower total fatty acid content than the corresponding average for tallow and yellow grease (Table 1). Official industry standards for RTG have yet to be established. As delivered prior to further processing, RTG has ~40% and ~38% FA (Tran *et al.*, 2017). Due to variation in methods and degrees of processing, the impurities, moisture and hence, total fatty acid composition of RTG is highly variable (Henriksson, 2016; Hums *et al.*, 2018). The moisture and impurities content of RTG used in two studies conducted in the United States with feedlot cattle (Plascencia *et al.*, 1999; Ramirez and Zinn, 2000) was low, averaging ~0.70% for moisture and a concentration equal or below of 1% for impurities. Plascencia *et al.*, (1999) reported that the RTG used in their study contained 84% total FA. The RTG produced in Mexico, and reported in a previous experiment with feedlot

lambs (Ramos-Méndez *et al.*, 2021) had a moisture and total FA content of 6.5 and 80%, respectively. Fat composition, particularly total fatty acids content, is closely associated with its NE value (Zinn and Jorquera 2007). As mentioned previously, there are no official standards for chemical composition of RTG. Considerations regarding feeding value should be discounted against its total FA content.

Treatment effects on growth performance and estimated dietary NE are shown in Table 2. Dry matter intake was not affected by treatments averaging 1.12 ± 0.16 kg/d. The feeding value of any new ingredient under evaluation for livestock depends on several factors, including it how might influence diet acceptability. The effect of conventional fats on DMI in lambs is variable. In some experiments, supplemental fats reduce DMI (Haddad and Younis, 2004; Mossad and Sayed, 2010), whereas in other studies supplemental fat increased DMI (Manso *et al.*, 2009). It has been argued that the effects of supplemental fat on cattle DMI is affected by type of fat, level of supplementation, and diet composition and energy density (Hess *et al.*, 2008; Joy *et al.*, 2021). Even at moderate levels of supplementation (2 to 4%), type of fat is a relevant consideration with respect to DMI. Manso *et al.*, (2009) observed that of supplemental hydrogenated palm oil tended to increase DMI, while sunflower oil tended to depress lamb DMI (fats were supplemented at 4% of diet DM). Compared with a non-supplemented diet, supplementation with 4% soybean oil depressed DMI, whereas supplementation with 4% fish oil did not affect lamb DMI (Ferreira *et al.*, 2014). Although, the most of reports point out, similarly to our results, that supplemental fat up to 4% of diet (palm oil, Manso *et al.*, 2006; yellow grease, Nelson *et al.*, 2008; Jatropha oil, Félix-Bernal *et al.*, 2016) did not affected DMI. Effects of RTG supplementation on lambs and cattle DMI have been variable. In some reports (Plascencia *et al.*, 1999; Ramos *et al.*, 2021) inclusion of RTG in diets did not affect DMI. Ramirez and Zinn, (2000) observed 7% decrease in DMI when RTG replaced flaked corn in finishing diets for feedlot cattle. However, they observed that DMI likewise decreased with supplemental tallow and yellow grease.

Daily weight gain ($P=0.46$) and gain efficiency ($P=0.17$) were similar for non-supplemented and RTG supplemented lambs. In contrast, lambs fed conventional fats had greater (8.1%, $P<0.01$) gain efficiency than control and RTG lambs. Due to the difference in energy concentration between the supplemental fat and the corn replaced,

a greater gain efficiency is expected. The similar gain efficiency observed between control and RTG is indicative that RTG had a lower energy value than that of TL and YG. However, even when gain efficiency is a widely used tool in assessment of feeding value, is important to note that this estimation can be misleading due to factors including energy density and rate weight gain (Kenny et al. 2018). Another approach for evaluation of the efficiency of dietary energy utilization in growth-performance trials is the ratio of observed-to-expected DMI and observed-to-expected dietary net energy (NE). This estimation of dietary energy intake and the ratio of observed-to- expected DMI reveals differences in efficiency of energy utilization independently of ADG. Applying this estimation to growth performance data, RTG lambs had greater estimated dietary NE (2.5%, $P=0.04$) than controls, but lower dietary NE (4.9%, $P<0.01$) than conventional fats (TL and YG). In healthy animals grown under non- stressful ambient conditions, the expected ratio of observed-to-expected dietary NE would be 1.0. That is, lamb ADG is consistent with DMI and energy density of the diet. If ratio is greater than 1, the observed dietary NE is greater than anticipated based on diet composition NRC (2007), and efficiency of energy utilization is enhanced. In contrast, if ratio is less than 1, energetic efficiency is less than expected. In this sense, lambs that were fed with Control, TL and YG treatments had an observed-to- expected dietary net energy ratio closely to 1.00. In contrast, lambs that were fed RTG had a 4% lower observed-to-expected diet NE value (0.96). State differently, based on ADG and tabular dietary NE, observed DMI was 5% greater than expected for RTG. Using the replacement equation described in the methods section, estimated net energy value for TL, YG, and RTG were 5.98 and 4.83, 6.23 and 5.05, and 3.48 and 2.64 Mcal/kg for maintenance and gain, respectively. These values correspond to 0.95, 0.99 and 0.55 of the assigned tabular values for conventional feed fats (6.30 and 5.1 Mcal/kg NEm and NEg, respectively; NRC 2007). The NE value of RTG was 57% that of the average observed for conventional fats tested. This value is considerably lower (57 vs 88 to 93%) than the comparative values obtained in prior studies (Plascencia *et al.*, 1999; Ramos-Méndez *et al.*, 2021), reflecting the low total fatty acid content of the RTG evaluated in the present study. When RTG is processed so that the total moisture, impurities and unsaponifiable material is similar to that of conventional fat (ie., <3%) the comparative

NE values for RTG are likewise similar (Ramirez and Zinn, (2000). According to its gross energy value, fatty acid represents roughly 95% of total energy of fat. Thus, feeding value of feed fats should be discounted based on total FA content. An alternative approach to estimating the energy value of supplemental fats is using the relationship of the FA intake (g/kg BW), intestinal digestibility, and the partial efficiency in the use digestible energy for BW gain (Plascencia et al. 2003). Accordingly, the NEm value for TG is 5.8 Mcal/kg. As the supplemental RTG used in the present study only contained 64.9% FA, then its estimated NEm value is 3.7 Mcal/kg (5.8x.649), or 0.60 of the energy value estimated for conventional fats. This value is in close agreement to the comparative energy value estimated based on growth performance using the replacement technique (0.57). There were no treatment effects on carcass weight, dressing percentage, LM area and tissue composition (Table 3). Absence of effects of supplemental fats on dressing percentage, LM area, and tissue composition of lambs is consistent with prior studies (Bath et al. 2011; Pinto et al. 2011; Ferreira et al. 2014). Increased LM area have been reported when cattle were supplemented with fat (Zinn 1989; Brandt and Anderson 1991). However, this effect was expected due to enhancements in ADG and carcass weight (Zinn and Plascencia, 2004; Urías-Estrada *et al.*, 2021).

Fat supplementation increased ($P<0.01$) FT (21%) and KPH (18%), but did not affect the proportion of fat in shoulder tissue. Dureau and Chilliard (1997) observed that fat supplementation leads to increased proportion of carcass fat, but not the proportion of fat in muscle tissue. The increases on FT and KPH pelvic fat is consistent studies evaluating fat supplementation in finishing diets for feedlot cattle (Zinn and Jorquera 2007; Donicht et al. 2011). However, this response has been less consistent in feedlot lambs (Félix-Bernal et al. 2014; Estrada-Angulo et al. 2017). These inconsistencies may be due in part to degree of finish (shorter finishing period in which fats were supplemented). Ramos-Mendez et al. (2021), observed that supplemental RTG (2, 4, and 6% of diet DM) linearly increased KPH, but did not affect FT of finishing lambs during 61-d feeding period. Similarly, RTG increased KPH but not FT in feedlot cattle (Plascencia et al. 1999). All fat sources tested did not affect non-fat visceral organs mass (expressed as organ weight, g/kg EBW), but increased ($P\leq 0.03$) visceral fat

(Table 4). In non-restricted feeding regimes, the main factors influencing non-fat visceral organ mass seems to be dietary fiber (Sainz and Bentley 1997) and protein intake (Fluharty and McClure, 1997). In this experiment, dietary treatment contained a very similar protein and NDF concentrations (Table 1) and were consumed at similar levels. Thus, no treatment effects were anticipated. Increases in visceral fat is a reflection of increased energy intake (Soares et al. 2012; Estrada et al. 2017). Accordingly, the increases in visceral fat were more evident for conventional fats than for RTG (38.05 vs 34.62%, $P=0.04$).

3.5. Conclusions

Supplementation with RTG does not affect diet acceptability, and accordingly, is a suitable energy source for feedlot lambs. However, due to its lower total fatty acid content, the net energy value of RTG is much lower than that of conventional fat when considering RTG as a supplemental fat source is important to verify its total fatty acid content.

Acknowledgment Appreciation is expressed to National Council for Science and Technology (CONACYT, Mexico) for fellowship support (CVU 739114) to Jorge Luis Ramos Méndez. Compliance with ethical standards

3.6. Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this experiment.

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

3.7. References

Abdel-Shafy HI, Mansour MSM (2018) Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. Egypt J Pet.27:1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>.

- AFOA (2020). Trading and Arbitration Rules. Animal Tallow and Grease Domestic Contract- American Fats and Oils Association, New York.
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD.
- Bhatt RS, Soren NM, Tripathi MK, Karim SA (2011) Effects of different levels of coconut oil supplementation on performance, digestibility, rumen fermentation and carcass traits of Malpura lambs. *Anim Feed Sci Technol.*164: 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.11.021>.
- Brandt RT Jr, Anderson SJ (1990) Supplemental fat source affects feedlot performance and carcass traits of finishing yearling steers and estimated diet net energy value. *J Anim Sci.* 68:2208–2216. <https://doi.org/10.2527/1990.6882208x>.
- Cannas A, Tedeschi LO, Fox DG, Pell AN, Van Soest PJ (2004) A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J Anim Sci* 82:149-169. <https://doi.org/10.2527/2004.821149x>.
- Canton GJ, Bores QR, Baeza RJ, Quintal FJ, Santos RR, Sandoval CC. (2009) Growth and feed efficiency of pure and F1pelibuey lambs crossbred with specialized breeds for production of meat. *J Anim Vet Adv.* 8: 26–32. <https://www.medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2009.26.32>.
- Donicht PAMM, Restle J, Freitas LS, Callegaro AM, Weise MS, Brondani IL (2011) Fat sources in diets for feedlot- finished steers - carcass and meat characteristics. *Ci Anim Bras.*12:487- 496. <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/14008>.
- Dureau M, Chilliard Y (1997) Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British J Nutr.*78:515-535. <https://doi.org/10.1079/BJN19970132>.
- Estrada-Angulo A, Félix-Bernal JA, Angulo-Escalante MA, Muy-Rangel D, Castro-Pérez BI, Ríos FG, Cerrillo A, Zinn RA, Plascencia A (2017) Effect of oil supplementation extracted from nontoxic purging nut (*Jatropha curcas* L) on carcass traits, tissue composition, muscle CLA concentration, and visceral mass of feedlot lambs. *Austral J Vet Med.* 49:1-7. <http://dx.doi.org/10.4067/s0719-81322017000100001>.

- Félix-Bernal JA, Angulo-Escalante MA, Estrada-Angulo A, Heredia JB, Muy-Rangel D, López-Soto MA, Barreras, Plascencia A (2014) Feeding value of nontoxic *Jatropha curcas* seed cake for partially replacing dry-rolled corn and soybean meal in lambs fed finishing diets. *Feed Sci Technol*.198:107-116. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.10.004>.
- Félix-Bernal JA, Estrada-Angulo A, Angulo-Escalante MA, Castro-Pérez BI, Landeros-López H, López-Soto MA, Barreras A, Zinn RA, Plascencia A (2016) Feeding value of supplemental *Jatropha curcas* crude oil in finishing diets for feedlot lambs. *J Anim Sci*. 94:3875-3882. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0598>.
- Ferreira EM, Pires AV, Susin I, Gentil RS, Parente MOM, Nolli CP, Meneghini RCM, Mendes CQ, Ribeiro CVDM (2014) Growth, feed intake, carcass characteristics, and meat fatty acid profile of lambs fed soybean oil partially replaced by fish oil blend. *Anim Feed Sci Technol*. 187:9-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.016>.
- Fluharty FL, McClure KE (1997) Effects of Dietary Energy Intake and Protein Concentration on Performance and Visceral Organ Mass in Lambs. *J Anim Sci*.75:604-610. <https://doi.org/10.2527/1997.753604x>.
- Haddad SG, Younis HM (2004) The effect of adding ruminally protected fat in fattening diets on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs. *Anim Feed Sci Technol* 113:61-69. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.015>.
- Henriksson J. (2016) Characterization of composition of the fat-rich residues from grease separators. Linnaeus University. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944380/FULLTEXT01.pdf>.
- Hess BW, Moss GE, Rule DC (2008) A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *J Anim Sci*. 86:E188-E2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0546>.

- Hums ME, Amin H, Tsao Y-Ch, Olson MS, Sparati S, Cairncross RA (2018) Longitudinal study of wastewater greases and their potential for the production of biofuels. *Energy Fuels*.32: 1831-1842. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b03550>.
- Joy F, Johnson JA, Górká P, McKinnon JJ, Hendrick S, Penner GB (2021) Effect of dietary lipid inclusion from by- product-based pellets on dry matter intake, ruminal fermentation, and nutrient digestion in finishing beef heifers. *Can J Anim Sci*.101:481-492. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0133>.
- Kenny DA, Fitzsimons C, Waters SM, McGee M (2018) Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle– the current state of the art and future challenges. *Animal*. 12:1815-1826. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000976>.
- Luaces ML, Calvo C, Fernández B, Fernández A, Viana JL, Sánchez L (2008) Ecuaciones predictoras de la composición tisular de las canales de corderos de raza gallega. *Arch Zootec* 57: 3-14. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49521701.pdf>
- Manso T, Bodas R, Castro T, Jimeno V, mantecon AR (2009) Animal performance and fatty acid composition of lambs fed with different vegetable oils. *Meat Sci*. 83:511-516. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.035>.
- Manso T, Castro T, Mantecon AR, Jimeno V (2006) Effects of palm oil and calcium soaps of palm oil fatty acids in fattening diets on digestibility, performance and chemical body composition of lambs. *Anim Feed Sci Technol*. 127:175-186. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.013>.
- Mossad GMM, Sayed AN (2010) Effect of different fat sources on the performance and carcass traits of growing lambs. *Assiut Vet Med J*. 56:1-14. https://life.aun.edu.eg/veterinary_medicine/effect-different-fat-sourcesperformance-and-carcass-traits-growing-lambs-0.
- Nelson ML, Busboom JR, Ross CF, O'Fallon JV (2008) Effects of supplemental fat on growth performance and quality of beef from steers fed corn finishing diets. *J Anim Sci*. 86: 936-948. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0410>.

- NOM (1995) Norma Oficial Mexicana (NOM-024-ZOO-1995; NOM-033-ZOO-1995, and NOM-051-ZOO-1995) Especificaciones sobre las características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos; sobre el trato humanitario en la movilización y sacrificio humanitario de animales domésticos y silvestres. <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF>. Accessed April 3 2021. Accessed April 3 2021.
- NOM (1999) Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999) Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF>. Accessed April 3 2021.
- Zinn RA, Jorquera PA (2007). Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle. In: Veterinary Food Animal Practice. L.C. Hollis LC, Olson KC (ed) Veterinary Food Animal Practice. Elsevier, Mosby Saunders. Phil. USA. pp 247-268.
- NRC (1985) Nutrient requirement of sheep. 6th ed. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC (2007) Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press. Washington, DC.
- Pinto APP, Garcia IFF, Leopoldino Jr I, Pérez JRO, Alves NG, Pereira IG (2011) Performance and carcass characteristics of lambs fed diets with fat and vitamin E. R Bras Zootec. 40:2911-2921. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200039>.
- Plascencia A, Estrada M, Zinn RA (1999) Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. J Anim Sci. 77:2603-2609. <https://doi.org/10.2527/1999.77102603x>.
- Plascencia A, Mendoza G, Vazquez C, Zinn RA (2003) Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. J Anim Sci. 81:2653-2659. <https://doi.org/10.2527/2003.81112653x>.

- Ramirez JE, Zinn RA (2000). Interaction of dietary magnesium level on the feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers. *J Anim Sci.*78:2072-2080. <https://doi.org/10.2527/2000.7882072x>.
- Ramos-Méndez JL, Estrada-Angulo A, Rodríguez-Gaxiola MA, Gaxiola-Camacho SM, Chaidez-Álvarez C, Manriquez-Núñez OM, Barreras A, Zinn RA, Soto-Alcalá J, Plascencia A (2021) Grease trap waste (griddle grease) as feed ingredient for finishing lambs: growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics. *Can J Anim Sci.* 101:257-262. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0102>.
- Sainz RD, Bentley BE (1997) Visceral organ mass and cellularity in growth-restricted and refed beef steers. *J Anim Sci.* 75:1229–1236. <http://dx.doi.org/10.2527/1997.7551229x>.
- SAS (2004) User's Guide: Statistics Version 9.1, 6th ed. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Sheinbaum C, Balam MV, Robles G, Lelo de Larrea S, Mendoza R (2015) Biodiesel from waste cooking oil in Mexico City. *Waste Manag Res.*33: 1-10 <https://doi.org/10.1177/0734242X15590471>.
- Sheinbaum-Pardo C, Calderón-Irazoque A, Ramírez-Suárez M (2013) Potential of biodiesel from waste cooking oil in Mexico. *Biomass Bioenergy.* 56: 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.008>
- Soares B, Furusho-Garcia IF, Pereira IG, Alves DO, Silva GR, Almeida AK, Lopes CM, Sena JAB (2012) Performance, carcass characteristics and non-carcass components of Texel xSanta Ines lambs fed fat sources and monensin. *Rev Bras Zootec.* 41: 421–431. <https://doi.org/10.1590/S1516-5982012000200027>.
- Tran NN, Ho PQ, Hall T, McMurchie EJ, Ngothai Y (2016) Extraction of fats, oil and grease from grease trap waste for biodiesel production. Conference Paper: 6th International Symposium on Energy from Biomass and Waste, 14 -17 Nov 2016, Venice, Italy. <https://www.researchgate.net/publication/318125785>.

- USDA (1992) Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. Agric. Marketing. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Lamb%2C Yearling Mutton and Mutton Standard%5B1%5D.pdf>.
- Uriás-Estrada JD, Estrada-Angulo A, Castro-Pérez BI, Plascencia A, Perea-Domínguez XP, Barreras A, Corona-Gochi L, Zinn RA (2021) Partial replacement of broom sorghum panicle residue and tallow with whole cottonseed in growing-finishing diets for lambs. Hellenic J Vet Med Assoc. In press.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J Anim Sci. 24:834–843. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Vasconcelos JT, Galyean ML (2007) Effects of proportions of wet corn gluten feed and distiller's dried grains with solubles in steam-flaked, corn-based diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. Prof Anim Sci 23: 260-266. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0261>.
- Wang H, Wang C (2013) Municipal solid waste management in Beijing: characteristics and challenges. Waste Manag Res. 31: 67–72. <https://doi.org/10.1177/0734242X12468199>.
- Zinn RA (1989) Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Feedlot cattle growth and performance. J Anim Sci. 67:1029–1037. <https://doi.org/10.2527/jas1989.6741029x>.
- Zinn RA, Barreras A, Owens FN, Plascencia A (2008) Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. J Anim Sci. 86:1-10. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0561>.
- Zinn RA, Plascencia A (2004) Influence of level and method of supplementation on the utilization of supplemental fat by feedlot steers. J Anim Vet Adv. 3:473-477. <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/javaa/2004/470-474.pdf>.

Table 1. Composition of dietary treatments offered to lambs

Item	Treatments ^a			
	Control	Tallow	Yellow grease	Griddle grease
Ingredient composition (% on DM basis)				
Dry-rolled corn	67.00	63.00	63.00	63.00
Sudan grass hay	8.00	8.00	8.00	8.00
Soybean meal	10.50	10.50	10.50	10.50
Tallow	----	4.00	----	----
Yellow grease	----	----	4.00	----
Griddle grease	----	----	----	4.00
Molasses cane	9.00	8.85	8.85	8.85
Urea	0.40	0.55	0.55	0.55
Zeolite	3.00	3.00	3.00	3.00
Trace mineral salt ^b	2.50	2.50	2.50	2.50
Dry matter				
Chemical composition ^c , (DM basis)	87.76	87.50	87.55	87.80
Total crude protein (%)	13.85	13.88	13.90	13.86
Ether extract (%)	3.10	6.94	6.83	5.61
NDF (%)	14.65	13.65	13.77	13.55
Calculated net energy ^d (Mcal/kg)				
Maintenance	1.97	2.13	2.13	2.13
Gain	1.33	1.46	1.46	1.46

^a Chemical composition of fat sources: 1) Tallow (animal fat): moisture, 0.28%; impurities, 0.32%; total fatty acids, 90.70%; 2) yellow grease (restaurant grease): moisture, 1.56%; impurities, 0.80%; total fatty acids, 88.50%; 3) griddle grease (trap-grease): moisture, 16.48%; impurities, 3.60%; and total fatty acids 64.90%. Samples of fats were analyzed by Laboratorios de Análisis Industriales, Culiacán Sinaloa, México.

^b Mineral premix contained: Calcium, 28%; Phosphorous, 0.55%; Magnesium, 0.58%; Potassium, 0.65%; NaCl, 15%; vitamin A, 1,100 IU/kg; vitamin E, 11 UI/kg.

^c Dietary composition was determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment. Accuracy was ensured by adequate replication with acceptance of mean values that were within 5% of each other.

^d Based on tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC, 2007) and assuming that all fats sources (TL, YG and RTG) contained similar energy value of 6.30 and 5.11 Mcal of NEm and NEg, respectively (NRC 2007).

Table 2. Effect of source of dietary supplemental fat on 84-d feedlot on growth performance and dietary energy of lambs

Item	Treatments ^a				SEM	P-value		
	Control	TL	YG	RTG		Control vs TL and YG	Control vs RTG	TL and YG vs RTG
Replicas	6	6	6	6				
Live weight (kg) ^b								
Initial	27.69	27.79	27.52	27.64	0.132	0.82	0.79	0.94
Final	47.60	47.03	48.35	46.71	0.805	0.93	0.43	0.34
Average daily gain (kg)	0.237	0.229	0.248	0.227	0.009	0.94	0.46	0.35
Dry matter intake (kg/d)	1.177	1.052	1.111	1.104	0.039	0.07	0.23	0.61
ADG/DMI	0.201	0.219	0.224	0.206	0.003	<0.01	0.17	<0.01
Dietary NE (Mcal/kg)								
Maintenance	1.98	2.13	2.14	2.03	0.014	<0.01	0.04	<0.01
Gain	1.33	1.46	1.47	1.37	0.012	<0.01	0.04	<0.01
Observed-to-expected dietary NE ratio								
Maintenance	1.01	1.00	1.01	0.96	0.007	0.42	<0.01	<0.01
Gain	1.00	0.99	1.00	0.93	0.009	0.68	<0.01	<0.01
Observed to expected DMI	1.00	1.01	1.00	1.05	0.008	0.70	<0.01	<0.01
Fat net energy value (Mcal/kg)								
Maintenance	---	5.98	6.23	3.48				
Gain	---	4.83	5.05	2.64				

SEM = standard error of the mean; NE= net energy; DMI=dry matter intake; ADG=average daily gain

^a Control=without supplemental fat; TL= 4% tallow; YG= 4% supplemental yellow grease, and RTG= 4% grease trap waste.

^b Live weights (LW) on days 1 was converted to shrunk body weight (SBW) by multiplying LW by 0.96 to adjust for the gastrointestinal fill (Cannas et al. 2004). All lambs were fasted (drinking water was not withdrawn) for 18 h before recording the final LW (day 84).

Table 3. Effect of source of dietary supplemental fat on carcass characteristics and shoulder tissue composition in lambs

Item	Treatments ^a					P-value		
	Control	TL	YG	RTG	SEM	Control vs TL and YG	Control vs RTG	TG vs TL and YG
Hot carcass weight (kg)	27.52	26.92	28.05	26.69	0.404	0.95	0.17	0.13
Dressing percentage	57.70	57.24	58.05	57.16	0.534	0.86	0.44	0.47
Longissimus area (cm ²)	18.88	18.42	18.60	18.82	0.568	0.60	0.95	0.66
Fat thickness (mm)	1.47	1.88	1.92	1.83	0.067	<0.01	<0.01	0.43
Kidney-pelvic-hearth fat (%)	1.94	2.28	2.36	2.47	0.114	0.02	<0.01	0.31
Shoulder composition (%)								
Muscle	62.04	62.22	61.98	61.76	0.385	0.90	0.62	0.49
Fat	19.13	19.47	19.37	19.82	0.541	0.67	0.39	0.56
Muscle to fat ratio	3.25	3.20	3.22	3.17	0.104	0.77	0.57	0.71

^a Control=without supplemental fat; TL= 4% tallow; YG= 4% supplemental yellow grease, and RTG= 4% grease trap waste.

Table 4. Effect of source of dietary supplemental fat on visceral organ mass

Item	Treatments ^a				SEM	P-value		
	Control	TLYG	RTG			Control vs TL and YG	Control vs RTG	TG vs TL and YG
EBW (% of full weight)	93.09	92.52	93.08	92.71	0.311	0.46	0.40	0.82
Organs weight, g/kg of EBW								
Stomach complex ^b	27.14	27.08	26.64	26.78	0.854	0.79	0.77	0.93
Intestines ^c	42.61	43.46	43.78	43.65	1.396	0.58	0.60	0.95
Heart plus lungs	20.94	19.21	19.60	21.23	0.883	0.18	0.82	0.12
Liver plus spleen	18.64	18.29	17.55	18.32	0.740	0.44	0.77	0.67
Kidney	2.37	2.38	2.30	2.49	0.098	0.82	0.64	0.45
Omental fat	26.29	32.89	32.56	30.03	1.141	<0.01	0.04	0.08
Mesenteric fat	4.31	5.49	5.20	4.60	0.337	0.03	0.55	0.09
Visceral fat	30.59	38.38	37.75	34.62	1.177	<0.01	0.03	0.04

^a Control=without supplemental fat; TL= 4% tallow; YG= 4% supplemental yellow grease, and RTG= 4% grease trap waste.

^b Stomach complex = (rumen + reticulum + omasum + abomasum), without digesta.

^c Small and large intestines without digesta.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de respuesta productiva, la grasa de trampa (GT) es una alternativa adecuada y de menor costo con respecto a las grasas convencionales empleadas en las dietas de finalización de corderos de engorda.
2. Así mismo, el nivel óptimo de inclusión de acuerdo con la evaluación de la grasa de trampa desde el punto de vista de la eficiencia energética estimada es de 4%.
3. La inclusión de GT no parece afectar la aceptabilidad de la dieta, por lo tanto, es una fuente de energía que puede ser utilizada para el ganado en finalización.
4. Al igual que todas las grasas suplementarias, el valor EN de la GT está en función de la concentración de AGL. La EN estimada de la GT puede estar en un rango del 93-87% con respecto al valor energético asignado por las normas actuales (NRC, 2007) para el sebo y la grasa amarilla, sin embargo, debe tenerse en cuenta su composición química (AGT y contenido de humedad), al contener menor cantidad de AGT el valor EN de GT será mucho menor que las grasas convencionales.
5. Al utilizar la grasa de trampa como ingrediente en dietas de finalización de rumiantes, se puede ayudar a solventar uno de los principales problemas de salud pública, disminuyendo la contaminación por agentes grasos del suelo y mantos acuíferos, esto debido al origen de dicha grasa.

CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA

- Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S.M. 2018. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorizations. Egypt J Pet.27:1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>.
- AFOA (1999) Trading and Arbitration Rules. American Fats and Oils Association. New York, EEUU. pp. 34-36.
- Bauchart D, Vèritè R, Remond B. Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn. Can J Anim Sci 1984; 64 Suppl 330-331.
- Bauchart, D. Lipid absorption and transport in ruminants. J. Dairy Sci., 1993, vol. 76, p. 3864-3881.
- Bauman DE, Perfield II JW, de Veth MJ, Lock AL (2003) New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. Proc. Cornell Nutr. Conf. pp. 175-189.
- Beam TM, Jenkins TC, Moate PJ, Khon RA, Palmquist DL (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.
- Beam TM, Jenkins TC, Moate PJ, Kohn RA, Palmquist DL (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.
- Bock, B. J., Harmon, D. L., Brandt Jr, R. T., & Schneider, J. E. (1991). Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion, and metabolism. Journal of Animal Science, 69(5), 2211-2224.
- CHILLIARD, Y., DOREAU, M., GAGLIOSTRO, G., ELMEDDAH, Y., 1993. Addition de lipides protégés (encapsules ou savons de calcium) à la ration de vaches laitières. Effets sur le performances et la composition du lait. Prod. Anim. 6: 139-150.
- Clary EM, Brandt TRJr, Harmon DL, Nagaraja TG (1993) Supplemental fat and ionophores in finishing diets: Feedlot performance and ruminal digesta kinetics. J. Anim. Sci. 71: 3115-3123.

- Coppock CE, Wilks DL (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 JF, Dufrasne I, Hornick JL, Istasse L. 2004. Acides gras: nomenclature et sources alimentaires. *Ann. Med. Vet.* 148: 133-140.
- Czerkawsky JW (1973) Effect of linseed oil fatty acids and linseed oil rumen fermentation in sheep. *J. Agric. Sci.* 81: 517-531.
- Dawson MR, Hemington N, Hazlewood GP (1977) On the role of higher plant and microbial lipases in the ruminal hydrolysis of grass lipids. *Brit. J. Nutr.* 38: 225-232.
- Demeyer D, Doreau M (1999) Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* 58: 593-607.
- Doreau M, Ferlay A (1994) Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 45: 379-396.
- Doreau, M., and Y. Chilliard. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78(Suppl. 1):S15–S35.
- Elgersma A, Ellen G, Van der Horst H, Muuse BG, Boer H, Tamminga S. Influence of cultivar and cutting date on fatty acids composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Grass Forage Sci* 2004; 59:104.
- Elliott JP, Drakley JK, Aldrich CG, Merchen NR (1997) Effect of saturation and esterification of fat sources on site and digestion of organic matter, fiber and nitrogen. *J. Anim. Sci.* 75: 2803-2812.
- Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., Gutierrez, C. G. (2009). In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 154: 112-118.
- Fuller, MJ. 2008. *Enciclopedia de Nutrición y Producción Animal*. Acribia. Zaragoza, España. 620 pp.

- Garnsworthy PC (2002) Fats in dairy cow diets. En Garnsworthy PC, Wiseman J (Eds.) Recent Advances in Animal Nutrition 4. Nottingham University Press. Hampshire, Inglaterra. pp. 399-416.
- Gerson T, King ASD (1985) The effects of dietary starch and fibre on the in vitro rates of lipolysis and hydrogenation by sheep rumen digesta. J. Agr. Sci. 105: 27-30.
- Givens, D.I., Kliem, K.E., Gibbs, R.A. The role of meat as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. Meat Sci., 2006, vol. 74, p. 209-218.
- Gooden JM (1973) The importance of lipolytic enzymes in milk fed and ruminating calves. Aust. J. Biol. Sci. 26: 1189-1199.
- Hamilton CR (2002) Value of animal fats and recycled greases in animal feeds. Darling International Inc. Irving, TX, EEUU. 17 pp.
- Harfoot CG, Hazlewood GP (1988) Lipid metabolism in the rumen. En Hobson N (Ed.) The Rumen Microbial Ecosystem. Elsevier. London, UK. pp. 285-322.
- Harper. 2015. Bioquímica ilustrada, 29a edición Murray RK, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Rodwell VW, Weil P. Murray R.K.
- Hawke JC, Silcock WR (1970) The in vitro rate of lipolysis and biohydrogenation in rumen contents. Biochim. Biophys. Acta 218: 201-212.
- Henderson C (1973) The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. J. Agric. Sci. 81: 107-112.
- Henriksson J. (2016) Characterization of composition of the fat-rich residues from grease separators. Linnaeus University. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944380/FULLTEXT01.pdf>.
- Hobson N, Mann SO (1961) The isolation of glycerol-fermenting and lipolytic bacteria from the rumen of the sheep. J. Gen. Microbiol. 25: 227-240.
- Jenkins TC (1993) Lipid metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 76: 3851-3863.
- Johns AT (1953) Fermentation of glycerol in the rumen of the sheep. NZ J. Sci. Tech. 35: 262- 269.

- Klusmeyer TH, Lynch GL, Clark JH. Effects of calcium salts of fatty acids and proportion of forage in diet on ruminal fermentation and nutrient flow to duodenum of cows. *J Dairy Sci.* 1991 Jul;74(7):2220-32. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78395-1. PMID: 1654346.
- Krehbiel CR, McCoy RA, Stock RA, Klopfenstein TJ, Shain DH, Huffman RP (1995) Influence of grain type, tallow level, and tallow feeding system on feedlot cattle performance. *J. Anim. Sci.* 73: 2916-2921.
- Kucuk O, Hess BW, Ludden A, Rule DC (2001) Effect of forage: concentrate ratio on ruminal digestion and duodenal flow of fatty acids in ewes. *J. Anim. Sci.* 79: 2233-2240.
- Lee MRF, Tweed JKS, Dewhurst RJ, Scollan ND (2006) Effect of forage: concentrate ratio on ruminal metabolism and duodenal flow of fatty acids in beef steers. *Anim. Sci.* 82: 31-40.
- Lourenco, M., Ramos-Morales, E., Wallace, R. J. (2010). The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal*, 4: 1008-1023.
- Maczulak AE, Dehority BA, Palmquist DL (1981) Effects of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Appl. Envir. Microbiol.* 42: 856-862.
- Martínez Marín, Andrés L., & Pérez Hernández, Manuel, & Pérez Alba, Luis, & Gómez Castro, Gustavo (2010). DIGESTIÓN DE LOS LÍPIDOS EN LOS RUMIANTES: UNA REVISIÓN. *Interciencia*, 35(4),240-246.[fecha de Consulta 17 de Octubre de 2021]. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913156002>.
- McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA (2006) *Nutrición Animal. Acribia*. Zaragoza, España. 616 pp.
- Morand-Fehr M, Tran G. 2001. La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *INRA Prod. Anim.* 14: 285-302.
- Neoda.org.uk. 2016. NEODA, Oils and fats information, Chemistry of oils and fats. [online] Available at: <<http://www.neoda.org.uk/oils-fats>> [Disponible en la red: 17.10.2022].

- Noble RC (1978) Digestion, absorption, and transport of lipids. *Prog. Lipid Res.* 17: 55-91.
- Noble RC, Moore JH, Harfoot CG (1974) Observations of the pattern of biohydrogenation of sterified and unsterified linoleic acid in the rumen. *Br. J. Nutr.* 31: 99-108.
- NRC. 2007. Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press. Washington, DC.
- Palmquist DL (1991) Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 74: 1354-1360.
- Palmquist DL. Utilización de lípidos en dietas para rumiantes. Department of Animal Sciences. OARDC/OSU, Wooster, OH. En: XII CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA. Madrid, España. 1996.
- Plascencia A, Estrada M, Zinn RA (1999) Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *J Anim Sci.* 77:2603-2609. <https://doi.org/10.2527/1999.77102603x>.
- Plascencia Jorquera, Alejandro; Mendoza Martínez, Germán David; Vásquez Peláez, Carlos; Avery Zinn, Richard Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos de engorda en confinamiento: una revisión *Interciencia*, vol. 30, núm. 3, marzo, 2005, pp. 134-142 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela.
- Polan CC, McNeill JJ, Store SB (1964) Biohydrogenation of insaturated fatty acid by rumen bacteria. *J. Bacteriol.* 88: 1056-1064.
- Ramírez JE, Zinn RA (2000) Interaction of dietary magnesium level on the feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 78: 2072-2080.
- Sauvant D, Bas P (2001) La digestion des lipides chez le ruminant. *INRA Prod. Anim.* 14: 303-310.

- Sauvant D, Meschy F, Mertens D (1999) Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *INRA Prod. Anim.* 11: 49-60.
- Sheinbaum C, Balam MV, Robles G, Lelo de Larrea S, Mendoza R (2015) Biodesil from waste cooking oil in Mexico City. *Waste Manag Res.*33: 1-10 <https://doi.org/10.1177/0734242X15590471>.
- Sheinbaum-Pardo C, Calderón-Irazoque A, Ramírez-Suárez M (2013) Potential of biodiesel from waste cooking oil in Mexico. *Biomass Bioenergy.* 56: 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.008>.
- Tran NN, Ho PQ, Hall T, McMurchie EJ, Ngothai Y. 2016. Extraction of fats, oil and grease from grease trap waste for biodiesel production. Conference Paper: 6th International Symposium on Energy from Biomass and Waste, 14 -17 Nov 2016, Venice, Italy. <https://www.researchgate.net/publication/318125785>.
- Van Nevel CJ, Demeyer DI (1995a) Lipolysis and biohydrogenation of soybean oil in the rumen in vitro: inhibition by antimicrobials. *J. Dairy Sci.* 78: 2797-2806.
- Van Nevel CJ, Demeyer DI (1996b) Influence of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Repr. Nutr. Dev.* 36: 53-63.
- Wang H, Wang C. 2013. Municipal solid waste management in Beijing: characteristics and challenges. *Waste Manag Res.* 31: 67–72. <https://doi.org/10.1177/0734242X12468199>.
- Wu Z, Ohajuruka OA, Palmquist DL (1991) Ruminant synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74: 3025-3034.
- Zinn R.A., Plascencia, J.A. 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle. In: *Veterinary Food Animal Practice*. L.C. Hollis LC, Olson KC (ed) *Veterinary Food Animal Practice*. Elsevier, Mosby Saunders. Phil. USA.pp 247-268.
- Zinn RA (1989) Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Feedlot cattle growth performance *J. Anim. Sci.* 67: 1029-1037.

- Zinn RA (1992a) Comparative feeding value of supplemental fat in steam-flaked corn- and steam-flaked wheat- based finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 2959-2969.
- Zinn RA (1992b) Comparative feeding value of supplemental fat in steam-flaked corn- and steam-flaked wheat- based finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 2959-2969.
- Zinn RA, Gulati SK, Plascencia A, Salinas J (2000) Influence of ruminal biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 78: 1738-1746.
- Zinn RA, Plascencia A (1992) Comparative digestion of yellow grease and calcium Soaps of long-chain fatty acids in cattle. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 43: 454-457.
- Zinn RA, Plascencia A (2004) Future of tallow as an ingredient in livestock diets. 24th Western Nutrition Conference. Saskatoon, Saskatchewan, Canadá. pp. 21-27.