

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE RESIDUOS DE TRAMPAS DE GRASA (GRIDDLE GREASE) COMO INGREDIENTE ALIMENTICIO PARA LA FINALIZACIÓN DE OVINOS DE PELO: RESPUESTA PRODUCTIVA, ENERGÍA DIETÉTICA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL”

**TESIS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**PRESENTA
CHRISTIAN CHAIDEZ ALVAREZ**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

OCTUBRE DE 2020

Efecto de la suplementación de residuos de trampas de grasa (griddle grease) como ingrediente alimenticio para la finalización de ovinos de pelo: respuesta productiva, energía dietética y características de la canal. Tesis presentada por Christian Chaidez Alvarez, como requisito parcial para obtener el grado de maestro en ciencias veterinarias, que ha sido aprobada por el siguiente comité:

Dr. Alberto Barreras Serrano
Director de Tesis

Dr. Jesús David Urías Estrada
Co-director de Tesis

Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez
Asesor

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Asesor

Dr. Alfredo Estrada Angulo
Asesor

Mexicali, Baja California, Octubre de 2020

AGRADECIMIENTOS

Ahora que estoy cumpliendo una meta más de mi vida profesional, quiero agradecer a las personas que directa o indirectamente dedicaron parte de su tiempo para que esta meta se llevara a cabo ya que sin ellos esto no hubiera sido posible, por ello les expreso mi agradecimiento.

A MIS PADRES Y HERMANOS. Por estar siempre ahí cuando mis metas las sentía perdidas, ya que son parte fundamental en mi vida.

A MI CUERPO ACADEMICO: Por ser un ejemplo a seguir. Por su apoyo y conocimientos brindados, por dejarme ser parte de su equipo de trabajo y poder compartir esta experiencia junto a ellos que además de ser investigadores reconocidos son excelentes personas.

A LA UABC Y AL IICV: por ser el *alma mater* y la institución que me brindó el apoyo para culminar la maestría en ciencias veterinarias.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA: Por la beca que sin falta me brindaron durante dos años completos, que fue fundamental para poder culminar la maestría.

A DIOS: por permitirme llegar hasta donde hoy me encuentro y permitir que todo esto pasara.

RESUMEN

Se utilizaron cuarenta y ocho corderos (37.7 ± 3.4 kg, peso vivo inicial ajustado) en un experimento de 61 días para evaluar el valor energético de los desechos de trampa de grasa (GT) en cuatro niveles de suplementación (0, 2, 4 y 6%). La GT suplementaria reemplazó el maíz quebrado en la dieta basal. La GT contenía 6.4% de humedad, 3.1% de impurezas y 79.8% de ácidos grasos (AG) totales. El aumento del nivel de GT en las dietas no afectó la ingesta de materia seca y el aumento de peso diario, pero aumentó linealmente la eficiencia de ganancia y la energía neta dietética (NE) estimada. Sin embargo, la relación de NE observada entre esperada en la dieta disminuyó al aumentar el nivel de GT. Los valores estimados de NE para GT basados en la ingesta de AG estuvieron muy de acuerdo (98 y 102% de lo predicho, respectivamente) con esos valores de NE determinados por la técnica de reemplazo para un nivel de suplementación de 2 y 4%. Sin embargo, el valor de NE observado para GT suplementado al nivel del 6% fue un 9% más bajo de lo previsto. La grasa del corazón pelvis y riñón aumentó a medida que aumentó el nivel de suplementación con GT; de lo contrario, las características de la canal y la composición de la paleta no se vieron afectadas. Concluimos que GT es una alternativa sustentable como grasas de alimentación convencionales en las dietas para finalización de corderos. La NE estimada de GT es 93% más que el valor de energía asignado por los estándares actuales para sebo y grasa amarilla.

Palabras clave: grasas recicladas, energía dietética, finalización de corderos, rendimiento, canal.

ABSTRACT

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 gain weight, but linearly increased gain efficiency and estimated dietary net energy (NE). However, the ratio of observed-to-expected diet NE decreased with increasing level 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-hearth 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% than energy value assigned by current standards for tallow and yellow grease.

Palabras clave: recycled fats, dietary energy, finishing lambs, performance, carcass.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pag
Índice de cuadros.....	vii
Índice de figuras	viii
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
El uso de grasa y aceites en la alimentación del rumiante.....	3
Factores nutrimentales.....	3
Factores asociativos.....	3
Mitigante de emisión de metano	4
Propiedades de los lípidos.....	5
Digestión de lípidos en rumiantes.....	6
Lipólisis y biohidrogenación ruminal.....	6
Digestión intestinal y absorción de ácidos grasos.....	9
Composición química de las distintas fuentes de grasas y aceites.....	11
Grasas y aceites convencionales utilizadas para rumiantes en confinamiento..	12
Fuente de grasas convencionales.....	12
Sebo.....	12
Grasa amarilla.....	13
Fuentes no convencionales.....	15
Extractos de jabón.....	15
Jabones de calcio.....	15

Grasa de trampa	16
Suplementación de grasas y aceites para borregos.....	17
LITERATURA CITADA.....	22
Informe de Experimento.....	30
Feeding value of grease trap waste (griddle grease): growth performance, dietary energetics and carcass characteristics in finishing lamb	30

INDICE DE CUADROS

Lista de cuadro	Pag.
Cuadro 1. Composición química promedio de las grasas y aceites alimenticios usados para alimentar al ganado de engorde.....	11
Cuadro 2. Efecto de la fuente de grasa sobre la respuesta productiva y característica de canal en novillos.....	27
Cuadro 3. Efectos del tratamiento en la respuesta productiva en novillos de engorda y EN de la dieta.....	28
Cuadro 4. Influencia del contenido de AG libres en los efectos de la grasa suplementaria en la respuesta productiva en novillos en finalización.....	29
Table 1. Dietary composition of experimental diets fed to lambs.....	42
Table 2. Effect of supplementation level of grease trap level (GT) on growth performance, dietary energy and estimated net energy value of GT.....	43
Table 3. Effect of supplementation level of grease trap level (GT) on carcass characteristics of lambs.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura. 1. Ruta y transformación de lípidos en el rumen.....	8
Figura 2. Digestión intestinal de los ácidos grasos en los rumiantes.....	10

INTRODUCCION

El constante crecimiento de la población humana, pone a prueba al sector productivo agropecuario, ya que en el año 2020 según la FAO (2020), se tenía una población de 7.70 millones de habitantes y se prevé que para el año 2050, la población alcance los 9.70 millones de personas, lo que representa un reto para garantizar la seguridad alimentaria de dicha población, impulsando en la actualidad a la producción pecuaria a que adopte políticas y tecnologías innovadoras que promuevan la eficiencia y sustentabilidad del sistema mientras se cubre la demanda de alimentos.

A la par, el necesario aumento del potencial productivo del sector, ha estimulado a la investigación a la búsqueda de ingredientes alternativos que proporcionen energía a los rumiantes, el interés se ha enfocado en el uso de fuentes líquidas de energía, dado a la creciente disponibilidad de desechos de lípidos por establecimientos dedicados al comercio de alimentos preparados, a un precio competitivo para la industria alimenticia animal. Las grasas y aceites son una fuente de alimento para rumiantes de alta densidad energética y de menor costo en comparación con los granos por unidad de energía que aporta (Plascencia *et al.*, 2005).

Hasta el momento existen numerosas investigaciones sobre el uso de grasas en la alimentación animal, sobre todo con fuentes como el sebo de res y grasa amarilla (GA), sin embargo, no existe evidencia suficiente o prácticamente nula acerca del uso de grasa de trampa (GT) en la alimentación de rumiantes, que de

acuerdo a sus componentes nutrimentales tiene potencial para ser usada como un ingrediente en las dietas integrales. El reutilizar un producto que se desecha a través de los drenajes de cocinas, cafeterías, restaurantes y en general cualquier establecimiento que se dedique al comercio de alimentos preparados, los beneficios serían una disminución de residuos contaminantes al medio ambiente y una reutilización de un componente energético, que de acuerdo a las políticas actuales han ido incrementando su valor monetario.

Sin embargo, de acuerdo a su composición química y sobre todo en la cantidad de ácidos grasos libres que posee (alta concentración), y la controversia de los efectos que estos causan a la población ruminal, puede ser una de las limitantes de uso en dicha especie. Por lo tanto, debido a la creciente disponibilidad de la GT, influenciada por las normas actuales del cuidado del medio ambiente, a su composición química nutrimental y a la escasa información acerca de su utilización en las dietas de finalización para rumiantes, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de distintas concentraciones de ácidos grasos libres en las dietas, sobre el comportamiento productivo y características de la canal de ovinos de pelo en fase de finalización.

REVISIÓN DE LITERATURA

Uso de grasa y aceites en la alimentación de rumiantes

Factores nutrimentales

Los aceites vegetales y la grasa animal se utilizan en la alimentación animal para aumentar la densidad energética de los alimentos (NRC, 2007), así como portadores de ingredientes liposolubles (vitaminas y ácidos grasos esenciales), para facilitar el proceso de digestión de estos ingredientes (Scarpino *et al.*, 2016). Los valores de contenido energético para bovinos de engorda asignados por los estándares actuales son de 6.00 y 4.50 Mcal/kg de EN para mantenimiento y EN para ganancia, respectivamente (NRC, 1996). Las grasas de grado alimenticio contienen aproximadamente 90% de ácidos grasos totales (AFOA, 1999), y éstos representan casi el 100% de su contenido energético (Zinn, 1989); Por lo tanto, el valor energético de las grasas está supeditado a la digestibilidad de sus ácidos grasos, la cual se ha determinado en 80% en especies rumiantes (Palmquist, 1991). Las dietas para bovino en finalización típicamente contienen de 4 a 5% de grasa; niveles más altos pueden afectar negativamente la fermentación microbiana del rumen (Bauman *et al.*, 2003), por lo que la recomendación general es que la grasa dietética total no debe exceder del 6 al 7% de la materia seca de la dieta (Jenkins, 1993; Doreau y Chilliard, 1997).

Factores asociativos

La grasa suplementaria se agrega a las dietas de rumiantes por muchas razones. Puede mejorar la palatabilidad, la eficiencia alimenticia y la eficiencia

reproductiva; Ciertos ácidos grasos (AG) (es decir, ácido linoleico conjugado) pueden influir en el reparto de nutrientes. La grasa suplementaria reduce la evolución del polvo generado durante el procesamiento y manejo de los alimentos. Chiba *et al.* (1985), demostraron que la suplementación con 2.5% de grasa animal redujo el polvo en el aire en un 82% cuando las maquinarias de entrega de alimento estaban operando. La grasa añadida también funciona como lubricante para reducir el desgaste del equipo de mezcla de alimentación y reducir la separación de partículas para mejorar la uniformidad de las mezclas de alimentación (Plascencia y Zinn, 2007).

Mitigante de emisión de metano

Una de las opciones más evaluadas para la disminución de la producción de CH₄ a nivel ruminal, es la adición de grasas en las dietas del bovino, ya que al adicionarla se disminuyen las emisiones de este, mediante la reducción de microorganismos fermentadores en el rumen, especialmente la actividad de bacterias metanogénicas y los protozoarios, del mismo modo los lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, son capaces de capturar hidrógenos a través de la biohidrogenación de estos, lo que reduce la disponibilidad de H⁺ para la formación de metano; algunas bacterias productoras de metano están íntimamente relacionadas con protozoarios, lo que establece la asociación del conteo de protozoarios y la disminución del CH₄. Esta simbiosis metanógeno-protozoo genera el 37% de la metanogénesis ruminal que se origina de esta simbiosis (Aguilar y Rojas, 2014).

Propiedades de los lípidos

Los lípidos son un grupo diverso de compuestos orgánicos presentes en los tejidos vegetales y animales, insolubles en agua, pero solubles en los solventes orgánicos comunes como el éter (Morand-Fehr y Tran, 2001; Shimada, 2015). Los AG son ácidos carboxílicos de cadena alifática hidrófoba. Pueden dividirse en 4 categorías de acuerdo con el número de carbonos o longitud de cadena: volátiles, con 2-4 carbonos; de 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 aquéllos. La notación ω (omega) indica la numeración de los carbonos de la molécula del AG donde se encuentra el doble enlace, iniciando desde el carbono del extremo final de la molécula (grupo metilo). Por ejemplo, son de la serie n-3 (ω -3) cuando el enlace doble se sitúa entre los carbonos tres y cuatro contando desde el carbono final hacia el grupo carboxilo, y un ácido graso de la serie n-6 (ω -6) cuando aquél doble enlace se sitúa entre los carbonos seis y siete, contando de la misma manera. (Cuvelier et al., 2004; Mach y Molina; 2014). 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 según los hidrógenos unidos a los átomos de carbono del enlace doble, ya sea se encuentren en el mismo lado, se le denomina de tipo “cis” o si se encuentra uno de cada lado, se le denomina de tipo “trans” (Cuvelier et al., 2004).

Los AG presentes en los triglicéridos alimenticios son en su mayoría insaturado (74.5%), principalmente el linoleico (56.8%) y linolénico (12.2%); el ácido oleico constituye el 3.2%. El AG saturado más abundante es el palmítico (14.7%); el ácido esteárico representa 1.9% del total. En contraste, los ácidos grasos que componen el tejido adiposo de los rumiantes son insaturados en menor proporción (58%), contienen cantidades elevadas de los ácidos oleico (50.5%), palmítico (23%) y esteárico (15%), además de isómeros trans y AG de cadena ramificada (Shimada, 2015).

Digestión de lípidos en rumiantes

Los lípidos de los alimentos sufren dos importantes transformaciones en el rumen: lipólisis y biohidrogenación. La lipólisis se refiere a la liberación por hidrólisis de los ácidos grasos esterificados en los triglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos. La biohidrogenación consiste en la reducción de los enlaces dobles existentes en los AG liberados (Martínez *et al.*, 2010).

Lipólisis y biohidrogenación ruminal

En el rumen, los lípidos alimenticios se hidrolizan con eficiencia que varía entre 35 y 93%, de acuerdo con su composición. A mayor presencia de triglicéridos en la ingesta la hidrólisis será más eficiente. A los triglicéridos los atacan esterasas unidos a las membranas microbianas y lipasas bacterianas presentes en el líquido ruminal. Se hidrolizan entre uniones estéricas, por lo que no existe diglicéridos ni monoglicéridos en el quimo del rumiante y la hidrólisis libera entonces AG y glicerol. A los AG libres de cadena corta (entre 2 y 6 carbonos) los emplea in situ la

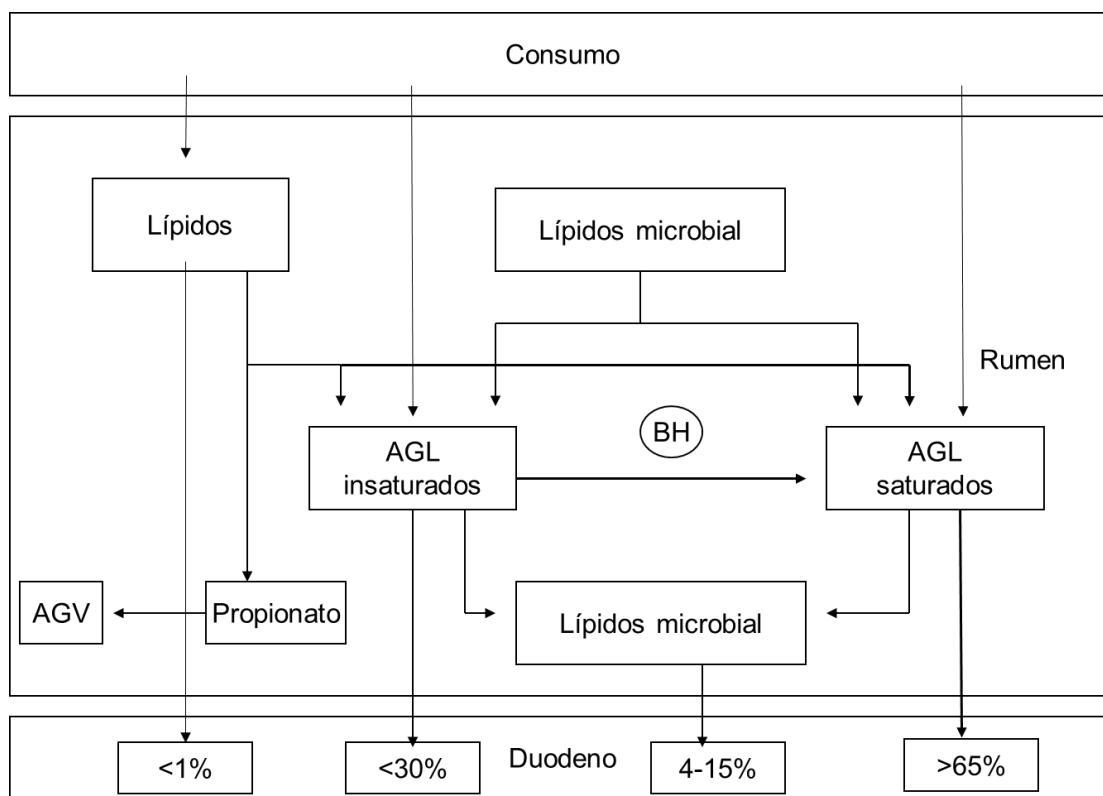
microbiota o se absorben a través de la pared del retículo-rumen, los de cadena media y larga (ocho o más carbono) los utilizan la microbiota para la síntesis de sus propios lípidos estructurales, o bien, abandona del rumen junto con el quimo, aquellos que son insaturados se hidrogenan y la totalidad del glicerol se metaboliza in situ por medio de un glicerol-cinasas de origen microbiano, hasta formar ácido propiónico (Shimada, 2015).

Los ácidos grasos insaturados no esterificados producidos durante la lipólisis son muy tóxicos para las bacterias gram-positivas (celulolíticas), las bacterias metanogénicas y los protozoos (Broudiscou *et al.*, 1994) ya que por sus características poseen una acción detergente para la membrana celular microbiana (Garnsworthy, 2002), para disminuir los efectos tóxicos las bacterias celulolíticas utilizan la biohidrogenación ruminal como un mecanismo de protección contra dichos efectos (Plascencia y Zinn, 2018).

La biohidrogenación es el proceso de detoxificación de mayor importancia ya que es el mecanismo mediante el cual los microorganismos ruminales saturan los AG insaturados hasta ácido esteárico (C18) (Polan *et al.*, 1964). Es importante señalar que se ha demostrado que los ácidos grasos insaturados son tóxicos para las bacterias ruminales, especialmente para aquellas que digieren la fibra. Esta toxicidad podría deberse a un impedimento de la digestión de los nutrientes debido a que los ácidos grasos se adhieren a la pared celular (Huws *et al.*, 2014). Así, no es de extrañar que una de las principales acciones de algunos géneros bacterianos ruminales sea la biohidrogenación de los ácidos grasos para minimizar los impactos negativos de los ácidos grasos insaturados en el crecimiento microbiano (Castillo y Domínguez, 2019)

Los AG que componen el tejido adiposo de los rumiantes contienen un porcentaje mayor de moléculas saturadas, en comparación con las que tienen los alimentos que esos animales ingieren, hecho que se explica por el proceso de biohidrogenación microbiana de los AG insaturados de la ingesta. La biohidrogenación es más rápida en los AG libres que en aquellos que están esterificados, lo que implica la acción inicial de las esterasas y lipasas mencionadas con anterioridad. Como consecuencia de la biohidrogenación, se facilita el crecimiento bacteriano, ya que los AG insaturados provocan cambios en la permeabilidad de las membranas microbianas, lo que inhibe su desarrollo; se reduce la metanogénesis debido a la menor competencia por hidrógenos aprovechándose mejor el dióxido de carbono (Shimada, 2015).

Figura. 1. Ruta y transformación de lípidos en el rumen (Adaptado de Zinn y Plascencia, 2007)



Digestión intestinal y absorción de ácidos grasos

Los AG que llegan al duodeno se encuentran mayoritariamente adheridos en las partículas alimenticias, las bacterias y las células endoteliales descamadas (Martínez *et al.*, 2010).

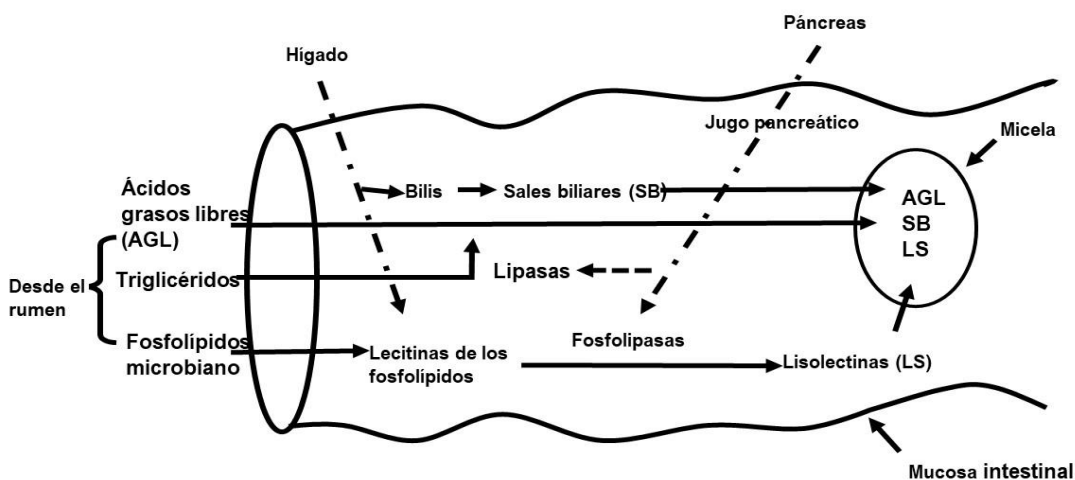
En rumiantes, la micela se forma de sales biliares y AG saturados esterificados a triacilglicerol y lecitina o lisolecitina. El pH de la ingesta que fluye del abomaso es muy bajo y se mantiene así en su recorrido a través de la mitad proximal del intestino delgado debido a la limitada actividad tampón de las secreciones pancreáticas que presentan niveles bajos de bicarbonatos, como consecuencia los AG son ionizados con este pH aumentando la absorción, los rumiantes suelen digerir los AG insaturados en menor grado, mientras que los AG saturados son digeridos de forma más completa (Bauman *et al.*, 2003).

El principal sitio de absorción de las grasas es el tramo medio y final del yeyuno, aunque también ocurre absorción en el tramo inicial a pesar del bajo pH. En el yeyuno superior se absorben exclusivamente los ácidos grasos libres que llegan al duodeno con la digesta, mientras que los AG procedentes de la digestión enzimática de las grasas neutras y los fosfolípidos son absorbidos en los dos tercios finales (Martínez *et al.*, 2010).

Según lo descrito por Church en 1993, el 20% aproximadamente los AG son absorbidos en la parte superior del yeyuno donde el pH suele ser 4 o menor. Otro 60% se absorbe en el resto del yeyuno, alcanzándose una absorción casi completa antes del íleo. La fase micelar se transporta hasta la mucosa del intestino delgado, una vez en el interior del hepatocito se empaqueta en los quilomicrones y lipoproteína

de muy baja densidad para transporte a la linfa y la circulación venosa (Shimada, 2015). En resumen, los AG son absorbidos (en su fase micelar) hacia el interior de las células de las vellosidades del intestino delgado, se da una re-esterificación y se forman nuevamente tri, mono y di-glicéridos, fosfolípidos, colesterol y apoproteínas, para finalmente darse una síntesis de quilomicrones, los cuales son liberados hacia el espacio intercelular mediante exocitosis (Church, 1993)

Figura 2. Digestión intestinal de los ácidos grasos en los rumiantes



Composición química de las distintas fuentes de grasas y aceites

Cuadro 1. Composición química promedio de las grasas alimenticias usados para alimentar al ganado bovino en finalizaciòn

Concepto	Grasa amarilla ¹	Sebo de res ¹	Extractos de jabón ²	Sales de Calcio ³	Grasa de trampa ⁴
Composición química					
Humedad ^a	0.40	0.12	1.4	-	.63
Impurezas ^b	0.22	0.08	4.9	-	3.00
Materia insaponificable ^c	0.71	0.31	3.46	-	.59
Valor de yodo ^d	82.06	54.04	102.6	81.3	75.2
Ac. Grasos totales	92.6	92.5	85.7	-	83.94
Ac. Grasos libres	13.9	7.8	54.8	-	42.30
Perfil de ácidos					
C _{16:0} (Esteárico)	18.0	25.2	21.5	49.8	16.56
C _{18:0} (Palmítico)	10.3	15.7	6.0	4.0	9.61
C _{18:1} (Oleico) ⁵	46.9	42.2	26.5	36.3	49.33
C _{18:2} (Linoleico)	17.2	5.3	40.2	7.5	14.28
C _{18:3} (Linolénico)	1.4	0.5	3.1	0.3	1.06

¹ Ramírez y Zinn, 2000; ² AFOA, 1999; ³ Wu et al., 1993, ⁴Plascencia *et al.*, 1999.

^a Elevados valores de contenido de humedad favorecen la rancidez hidrolítica de las grasas y esto puede afectar la aceptabilidad de las dietas suplementada con grasas, disminuyendo el consumo voluntario.

^b Son materiales filtrables insolubles en keroseno y compuesto principalmente por partículas de tejido muscular, cuero, hueso y metales. En la actualidad, valores altos de estos compuestos representan un riesgo de la presencia del agente que transmite la encefalopatía espongiforme bovina.

^c Son materiales solubles en éter de petróleo que no reaccionan con hidróxido de sodio o de potasio para formar jabón, estos compuestos contribuyen muy poco al valor nutrimental de la grasa y representan un factor de riesgo de contaminación por pesticidas y otras sustancias tóxicas.

^d Refiere a la cantidad de gramos de yodo consumidos por cada 100 gramos de grasa, y es una medida del grado de saturación de los ácidos grasos que contienen las mismas.

Grasas y aceites convencionales utilizadas para rumiantes en confinamiento

Los lípidos cuantitativamente más importantes en la alimentación de los rumiantes son aquéllos que contienen AG unidos a glicerol: triglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos (Cuvelier *et al.*, 2004). Los triglicéridos son mayoritarios en los lípidos de las materias primas no forrajeras, los glicolípidos predominan en los lípidos de los forrajes (Morand-Fehr y Tran, 2001; Shimada, 2015). Los lípidos de los forrajes se encuentran principalmente en forma de AG poliinsaturados esterificados como galactosilglicéridos; la concentración de AG en esta forma rara vez supera el 1.5% de la materia seca de la dieta. En cambio, el contenido en AG de cereales, semillas oleaginosas, grasas y aceites convencionales es variable, más elevado y en forma de triglicéridos. (Zinn y Plascencia, 2007; Shimada, 2015).

Fuentes de grasas convencionales

Sebo

El sebo o grasa animal es un subproducto derivado principalmente de desperdicios de carne y vísceras y su origen es mayormente de ganado vacuno. Este tipo de grasa se caracteriza por una mayor uniformidad, además de presentar un alto punto de fusión ($>40^{\circ}\text{C}$) y un menor contenido de humedad e impurezas ($<1,5\%$) así como de AGL, en comparación con otras fuentes de grasas (Brandt y Anderson, 1990; Zinn *et al.*, 2005).

En este sentido, Brandt y Anderson (1990), que utilizaron 140 novillos de un año para evaluar los efectos de las fuentes de grasa (3,5% de la materia seca) en

las dietas de finalización con sorgo hojuelado al vapor. Las grasas difieren en la composición de ácidos grasos y el nivel de ácidos grasos libres, los novillos fueron alimentados con suplementos aceite de soja, sebo y GA, tuvieron una ganancia diaria de 8.45, 5.6 y 12.0 % más eficientes ($P < 0.05$) respectivamente, comparados con los novillos del grupo control (Cuadro 4). La ingesta de materia seca no difirió ($P > 0.10$) entre grupo control y cualquier tratamiento complementario de grasa, aunque los novillos GA consumieron 5.3% más ($P < 0.05$) materia seca que los novillos del grupo de sebo. Como resultado, los novillos alimentados con aceite de soja, sebo y GA fueron 8.1, 8.8 y 9.4% más eficientes ($P < 0.01$) en la conversión alimenticia respectivamente, que los novillos del grupo control. Los tratamientos con grasa amarilla fueron más eficientes que el grupo control; en cuanto al sebo vs GA, el tratamiento de GA tuvo una respuesta productiva y características de canal más eficiente, esto se puede comparar en el cuadro 2, dando una razón por qué fue sustituido parcialmente el uso de sebo por grasa amarilla en las engordas de bovinos.

Grasa amarilla

La GA es una grasa suplementaria convencional para el ganado. Su nombre es descriptivo de su aspecto amarillento. También se puede denominar "grasa de restaurante" o "grasa de cocina", ya que está compuesta por cualquier combinación de grasas de desecho recolectadas en panaderías, restaurantes, cafeterías escolares y similares, pero también puede contener grasa animal. Debido a esta diversidad de fuentes, la composición de GA no es uniforme a través de un área a otra o de una planta a otra. De acuerdo con los estándares establecidos por la

“American Fats and Oils Association” (AFOA 1999), la GA tiene un máximo de 150 g / kg de AG libres, sin color refinado o blanqueado, y un máximo de 20 g/kg de impurezas e insaponificables (Plascencia y Zinn, 2018).

Un estudio reportado por Plascencia y Zinn (2002) en el que se utilizaron 126 novillos cruzados ($225 \pm 5,4$ kg) para evaluar los efectos en la respuesta productiva, los tratamientos utilizando fue una mezcla de GA-forraje en dietas para bovinos en finalización. En ese sentido, se realizó una mezcla de 80% de alfalfa con 20% de GA y fue utilizada en tratamientos de 15, 30 y 45% en dietas de finalización. La dieta que incluyó la mezcla al nivel de 15% contuvo 71% de trigo en hojuela, mientras que las dietas que utilizaron los niveles de 30 y 45%, éstas se incluyeron sustituyendo en proporción idéntica al trigo en hojuela. El sustituir el grano con la mezcla alfalfa-GA no afectó el consumo o la ganancia diaria. Sin embargo, la NE contenida de la dieta disminuyó en forma lineal al aumentar la proporción de la mezcla en la dieta como se muestra en el cuadro 3. De igual manera, la digestibilidad intestinal de los ácidos grasos se vio afectada a medida que se aumentaba la mezcla en la ración. Se concluyó que la cantidad de GA consumida fue el factor principal que limitó el contenido de NE y la digestibilidad de los AG mientras que el método de adición no tuvo un papel relevante en los resultados.

Fuentes no convencionales

Extractos de jabón

Son subproductos resultantes 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%) (Plascencia *et al.*, 2005; Zinn y Plascencia, 2007).

Jabones de calcio

El término "grasa protegida" puede ser un nombre inapropiado. Generalmente se refiere a las grasas de alimentación que han sido secuestradas en forma sólida, lo que simplifica enormemente el manejo. El grado real de "protección" contra la biohidrogenación ruminal puede ser variable. Los ejemplos de "grasas protegidas" incluyen jabones de calcio / ácidos grasos de magnesio, mezclas de grasas de alto título compuestas predominantemente de palmitato o estearato, alginatos de ácidos grasos y grasas con complejos de proteínas. El último se prepara secando por pulverización un homogenado de aceite vegetal altamente insaturado y proteína soluble, lo que resulta en la formación de micropartículas (15-50 u de tamaño), cada partícula contiene lípidos rodeados por una capa de proteína. Los ácidos insaturados se protegen de las lipasas microbianas y las hidrogenasas al tratar los complejos de lípidos y proteínas con formalina (aproximadamente 5% en peso). El formaldehído cruza enlaces con aminoácidos para hacer que la proteína sea resistente a la proteólisis en el rumen (Zinn y Plascencia, 2007).

Grasa de trampa

Otra fuente de grasa alta en AG libres es la grasa denominada “grasa de trampa”, la cual 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 AG libres (Plascencia *et al.*, 2004). Como se explicó anteriormente los AG libre son ácidos grasos no esterificados con glicerol. En grasas y aceites la presencia de niveles altos de AGL puede indicar un almacenamiento o manejo inapropiado de la grasa (Plascencia *et al.*, 2005).

En ese sentido, Plascencia *et al.* (1999), evaluaron la influencia de distintos niveles de AGL contenidos en la grasa amarilla y la GT adicionadas a las dietas para bovinos de engorda sobre el comportamiento productivo y digestión de nutrientes, siendo hasta la fecha el único estudio en bovinos donde se ha valorado directamente a la GT como una fuente de alto contenido de AGL. Se utilizaron 96 novillos Holstein, con un peso promedio inicial de 375 kg, para un ensayo de respuesta productiva, con duración de 144 días, los tratamientos aplicados consistieron en 0% grasa, 5% GT, 2.5% GA + 2.5% GT y 5% GA. El incremento de contenido de AGL, aumentó en forma lineal la ganancia diaria de peso, el consumo y la conversión alimenticia, tal como se muestra en el cuadro 4.

Suplementación de grasas y aceites para borregos

Se han realizado investigaciones sobre la inclusión de aceites vs aceite residual para freír (GA) en las dietas para ovejas donde se evalúa la respuesta productiva (Awawdeh *et al.*, 2009a; Awawdeh *et al.*, 2009b; Loerch *et al.*, 2009; Scarpino *et al.*, 2016; Maso *et al.*, 2009) con resultados prometedores en todas las diferentes etapas de un cordero, como en lactación (Awawdeh *et al.*, 2009a), destete (Loerch *et al.*, 2009), crecimiento (Awawdeh *et al.*, 2009b; Yamamoto *et al.*, 2005) y finalización (Scarpino *et al.*, 2016).

Awawdeh *et al.* (2009^a), midieron el efecto de la GA como fuente de energía alternativa para la cría de ovejas Awassi y su cordero lactante. Se usaron treinta ovejas con un PV inicial de 52.0 kg (SD = 8.4); los corderos lactantes con un PV inicial de 6.2 kg (SD = 1.0). Se utilizaron tres tratamientos: T1. Sin grasa suplementaria (testigo), T2. 32 g / kg de GA y T3. 32 g / kg aceite de soya (AS), fueron alimentados durante 55 días. Para las ovejas, la ingesta MS ($P = 0.67$), el rendimiento de la leche ($P = 0.42$), el cambio de peso corporal ($P = 0.27$), la composición de la leche ($P > 0.20$) y los rendimientos de la composición de la leche ($P > 0.30$) no presentaron diferencia estadística entre los tratamientos dietéticos. La GDP de corderos no se vio afectada ($P = 0.6$) por los tratamientos dietéticos. Sin embargo, el costo de alimentar a 10 ovejas durante 55 días fue de US \$ 612, 544 y 601 para el grupo control, GA y AS, respectivamente. Asimismo, el costo de producir 1 kg de leche fue de US \$ 1.84, 1.37 y 1.52 para control, GA y grupo AS, respectivamente. En este trabajo se concluyó que es económicamente factible

reemplazar parcialmente (206 g / kg) la cebada con GA sin afectar negativamente el rendimiento de las ovejas Awassi o sus corderos lactantes.

De esta misma manera Loerch *et al.* (2009), evaluar los efectos de la inclusión de 3% de aceite que contiene AG poliinsaturado (soja y linaza) en dietas con alto contenido de concentrado (con o sin aceite) antes vs. post-destete. Se utilizaron 48 corderos en un arreglo factorial 2 x 2, donde se observó que la suplementación con aceite antes, ni después del destete afectó CMS, GDP y eficiencia alimenticia ($P \geq 0.26$).

Un trabajo desarrollado por Awawdeh (2009^b), en el cual se estudiaron los efectos de la GA y el AS en la respuesta productiva en cordero de raza Awassi, se utilizaron 23 machos con un PV inicial = 18.5 ± 1.72 kg, los tratamientos empleados fueron: T1. Sin grasa, T2. 32 g /kg AS, T3. 32 g /kg de GA, los resultados de las mediciones fueron que los corderos alimentados con las dietas GA y AS comieron más FDN ($P < 0.05$) que aquellos alimentados con la dieta de control debido a los mayores contenidos de FDN en esas dietas. Además, los corderos alimentados con las dietas GA o AS comieron más EE ($P < 0.01$) que aquellos alimentados con la dieta control como resultado de la inclusión de grasas. Los corderos alimentados con las dietas GA y AS crecieron más rápido ($P < 0.01$) y terminaron con un PV final más pesado ($P < 0.01$) que aquellos alimentados con la dieta de control. Posteriormente, los corderos alimentados con las dietas GA o AS ganaron más PV ($P < 0.01$) que aquellos alimentados con la dieta de control. El presente estudio sugiere que reemplazar parcialmente la cebada con 32 g / kg de GA o AS mejoró la tasa de crecimiento, el peso final y el peso en canal de corderos Awassi con solo efectos menores en la digestibilidad de los nutrientes y las características de la

canal. Sin embargo, la grasa de los restaurantes presenta el costo más bajo por unidad de ganancia y podría llegar a ser una valiosa fuente alternativa de energía de alimentación para las industrias de rumiantes.

Otro trabajo similar desarrollado por Scarpino *et al.* (2016), donde se utilizaron 24 corderos machos (Santa Inês × Dorper) no castrados, con un peso inicial de $24,9 \text{ kg} \pm 2,4 \text{ kg}$ para evaluar los efectos de las fuentes de lípidos como el AS y GA, sobre el comportamiento productivo, donde los animales se distribuyeron en un diseño de bloques al azar ($P = 0.05$), los tratamientos consistieron en T1. Control (sin grasa), T2. 6% AS y T3. 6% GA, los animales fueron sacrificados al alcanzar los 35 Kg, los resultados de las mediciones fueron que la ingesta de MS disminuyó cuando los animales fueron alimentados con aceite ($P < 0.01$), independientemente de la fuente, y la disminución fue más marcada cuando los animales fueron alimentados con la dieta GA ($P = 0.02$). La ingesta EE fue mayor para el T1 y T2 en comparación con el testigo ($P < 0.01$), y cuando se compararon las dietas de aceite, AS (T2) tuvo el menor consumo de EE ($P < 0.01$). Los pesos iniciales y finales fueron similares entre los tratamientos ($P > 0.17$). La GDP de los corderos alimentados con tratamiento testigo fue similar al promedio de los animales alimentados con T1 y T2 ($P = 0.63$), mientras que los animales alimentados con GA (T3) tuvieron un GDP 21.3% menor que los corderos alimentados con AS ($P < 0.01$), lo que resultó en más días de dieta para animales alimentados con GA ($P = 0.04$). Los animales alimentados con dieta testigo fueron más eficientes (0.14) en comparación con los animales alimentados con AS y GA (0.18 y 0.17, respectivamente; $P = 0.02$), pero no presentaron diferencia estadística entre ellos ($P = 0.30$). Teniendo en cuenta los días acumulados en la alimentación, se observó

que la ingesta total de MS sigue el orden descendente testigo > GA > AS (69 kg, 66 kg, 61.5 kg, respectivamente), lo que posiblemente dio resultado a una mayor eficiencia (0.14, 0.17 y 0.18 respectivamente) de animales alimentados con aceite, incluso si tenían un mayor requerimiento de mantenimiento de energía. Se concluyó que uso de GA como fuente de energía alternativa aumenta los días de corderos en la alimentación, pero dependiendo del precio y la disponibilidad puede ser económicamente factible, especialmente para los pequeños agricultores familiares.

Yamamoto *et al.* (2005), evaluaron la fuente de aceite vegetal en la dieta de corderos confinados, se utilizaron 24 animales puros de Santa Inés y ½ Dorset ½ Santa Inés con un peso promedio inicial de 15.81 ± 1.50 kg, los tratamientos consistían en: T1 0% grasa complementaria (control), T2. 3% de AS, T3. 3% aceite de canola (AC) y T4. 3% de aceite de linaza (AL), fueron sacrificados al alcanzar los 30 kg aproximadamente, Los animales alimentados con T3. AC fueron más eficientes estadísticamente en el PV final (30.98) en comparación con los animales alimentados con T1. Control, T2. AS y T4. AL que fueron similares (29.46, 29.83 y 29.57, respectivamente; $P = 0.05$), mientras que en CMS el T3. AC tuvo diferencia significativa (4.05) en comparación con el T. control (4.55), pero las otras fuentes de aceite fueron similares. El T4. AL tuvo una GDP más baja (.258 kg/día) y comparada con el T. control estadísticamente fue mayor (.297 kg/día), los otros tratamientos fueron similares. En este trabajo se concluyó que la inclusión de aceites vegetales proporciona un rendimiento satisfactorio en la finalización de los corderos en confinamiento, aunque con menores GDP para aquellos alimentados con una dieta que contiene aceite de linaza, probablemente debido a la menor digestibilidad de la materia seca de esta dieta.

Maso *et al.* (2009), estudiaron el rendimiento animal y composición de ácidos grasos en diferentes aceites vegetales. Se utilizaron 24 corderos con un PV inicial de 16.2 ± 0.27 kg; fueron sacrificados a los 25 kg. Los tratamientos consintieron: T1. Sin grasa (control), T2. 4% de aceite de palma hidrogenada (APH), T3. 4% de aceite de girasol (AG). Los corderos que consumieron AG tendieron a comer menos concentrado que los animales que consumieron APH ($P < 0.10$). Los tratamientos con aceite suplementaria no presentaron efectos estadísticamente significativos en APH y AG en comparación con la dieta control sobre el peso de la canal caliente, canal fría.

LITERATURA CITADA

- AFOA. 1999. Trading and Arbitration Rules. American Fats and Oils Association. New York, EEUU. pp. 34-36.
- Aguiar, Z. E., Rojas, B. A. 2014. Métodos utilizados para reducir la producción de metano endógeno en rumiantes, *Nutrición Animal Tropical* 8(2): 72-90 ISSN: 2215-3527
- Awawdeh, M.S., Obeidat, B.S., Abdullah, A.Y., Hananeh, W.M., 2009b. Effects of yellow grease or soybean oil on performance, nutrient digestibility and carcass characteristics of finishing Awassi lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 153, 216–227.
- Awawdeh, M.S., Obeidat, B.S., Kridli, R.T., 2009a. Yellow grease as an alternative energy source for nursing awassi ewes and their suckling lambs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 152, 165–174.
- Bauman, D. E., J. W. Perfield II, M. J. de Veth, and A. L. Lock. 2003. New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. *Proc. Cornell Nutr. Conf.* pp. 175-189.
- Brandt, R. T. Jr., Anderson, S. J. 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.
- Broudiscou, L., Pochet, S. and Poncet, C. 1994. Effect of linseed supplementation on feed degradation and microbial synthesis in the rumen of ciliate- free and refaunated sheep. *Animal Feed Science and Technology* 49, 189-202.

- Castillo, L. E., Domínguez, O.M. 2019. Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana. Revisión. Revista Mexicana Ciencias Pecuaria. Vol. 10(1). P 120-148
- Chiba, L.I., Peo, E.R., Lewis, A.J., et al. 1985. Effect of dietary fat on pig performance and dust level in modified-open-front and environmentally regulated confinement buildings. J. Anim. Sci. 61:763–81.
- Church CD. 1993. El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición. Editorial Acribia.
- Cuvelier, C., Cabaraux, J.F., Dufrasne, I., Hornick, J.L., Istasse, L. (2004). Acides gras: nomenclature et sources alimentaires. Ann. Med. Vet. 148: 133-140.
- Doreau, M., Chilliard, Y. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. Br. J. Nutr. 78: S15-S35.
- 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.
- Huws, S.A., Kim, E.J., Cameron, S.J.S., Girdwood, S.E, Davies, L., Tweed, J., et al. 2014. Characterization of the rumen lipidome and microbiome of steers fed a diet supplemented with flax and echium oil. Microbial Biotechnol. 8:331-341.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 76:3851-3863.
- Loerch, S., Reynolds, C. K., Fluharty, F. L., Zerby, H. N., 2009. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid supplementation on fatty acid composition in muscle and subcutaneous adipose tissue of lambs. J. Anim. Sci. 10.2, 527-2059

- Mach, N., Molina, P. A. 2014. Alimentos ricos en ácidos grasos v-3 libres de contaminantes y aptos para vegetarianos, y su importancia en el desarrollo neurológico normal, Revista española de dieta nutrición humana, pagina 89-99.
- Manso, T., Bodas, R., Castro, T., Jimeno, V., Mantecó, A.R. 2009. Animal performance and fatty acid composition of lambs fed with different vegetable oils. Meat Science. Vol. 83. Issue 3. Pag. 511-516
- Martínez, M. A. L., Pérez, H. M., Pérez, A. L., Gómez, C. G. 2010. Digestión de los lípidos en los rumiantes: una revisión, Interciencia, vol. 35, núm. 4, abril, 2010, pp. 240-246, Asociación Interciencia, Caracas, Venezuela.
- 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.
- NRC, 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants, 7th ed. National Academy Press, Washington, DC, pp. 408.
- NRC. 1996. Nutrent Requirements of Beef Cattle, 7th en NaTIONAL Academy of Sciences Press, Washigton, DC.
- Palmquist, D. L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. J. Dairy Sci. 74:1354-1360.
- Palmquist, D.L., 1987. Adding fat to dairy diets. Anim. Health Nutr. (February).
- Plascencia, J. A., Estrada, M., 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.
- Plascencia, J. A., Mendoza, M. G., Vásquez, P.C., Zinn, R. A. 2005. Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para

- bovinos de engorda en confinamiento: una revision. *Interciencia*, vol. 30, núm. 3, marzo, 2005, pp. 134-142, Asociación Interciencia, Caracas, Venezuela.
- Plascencia, J. A., Zinn R, A. 2002. Evaluation of a forage-fat blend as an isocaloric substitute for steam-flaked wheat in finishing diets for feedlot cattle: Growth-performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.* 18: 247-253.
- Plascencia, J. A., Zinn R, A. 2018. Comparative effects of 'solid'-fat sources as a substitute for yellow grease on digestion of diets for feedlot cattle. *Animal Production Science*
- Polan, E., McNeill, J. J., Tove S. B. 1964. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids by rumen bacteria. *Journal of bacteriology*, Vol. 88, No. 4, P. 1056-1064
- Scarpino, VC., F., Bertocco E. J., Pastori, DA., Tùlio, C. A., Leal, P. H., Castello, B.E. 2016. Feeding behavior, nutrient digestibility, feedlot performance, carcass traits, and meat characteristics of crossbred lambs fed high levels of yellow grease or soybean oil. *Elsevier. Small Ruminant Research* 137 151–156.
- Shimada, M. A. 2015. *Nutrición animal*, Editorial trillas, México.
- Yamamoto, S.M., Macedo, F.A.F., Zundt, M., Mexia, A.A., Sakaguti, E.S., Rocha, G.B.L., Regac, oni, K.C.T., Macedo, R.M.G., 2005. Fontes de óleo vegetal na dieta de cordeiros em confinamento (Vegetable oil sources in feedlot lambs). *Rev. Bras Zootec.* 34 (2), 703–710.
- 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 performance *J. Anim. Sci.* 67: 1029-1037.

Zinn, R. A., Plascencia, J. A. 2007. Feed value of supplemental fats used in feedlot cattle diets. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23: 247–268.and *Vet. Adv.* 3:763-768.

Cuadro 2. Efecto de la fuente de grasa sobre la respuesta productiva y característica de canal en novillos.

	Fuente de grasas suplementarias				SE
	Control	Aceite de soya	Sebo	Grasa amarilla	
No. Bloques	5	5	5	5	
No. Novillos	35	35	35	35	
Peso inicial, kg	368.2	362.7	362.7	369.7	2.77
Peso final, kg	540.5	548.2	544.5	560.9	4.91
GDP, kg	1.42 ^f	1.54 ^{de}	1.50 ^e	1.59 ^d	.025
Consumo de alimento MS, kg	8.90 ^{de}	8.91 ^{de}	8.67 ^e	9.13 ^d	.154
Eficiencia alimenticia	.160 ^c	.173 ^b	.174 ^b	.175 ^b	.0031
Energía Neta de la dieta, Mcal/kg					
Mantenimiento	2.04 ^e	2.13 ^d	2.15 ^d	2.16 ^d	.031
Ganancia	1.38 ^e	1.46 ^d	1.48 ^d	1.48 ^d	.026
Energía neta de la grasa, Mcal/kg					
Mantenimiento		4.48	5.05	5.34	
Ganancia		3.56	4.13	4.13	
Características de la canal					
Peso canal caliente, kg	343.2 ^e	352.7 ^{de}	350 ^{de}	359.5 ^d	4.00
Rendimiento de canal	63.42 ^e	64.57 ^d	64.15 ^d	64.13 ^d	.248

^{b c} Los promedios en una fila con diferentes superíndices difieren (P <.01).

^{d e f} Los promedios en una fila con diferentes superíndices difieren. (P <.05).

Cuadro 3. Efectos del tratamiento en la respuesta productiva en novillos de engorda y NE de la dieta.

	FGA ^a			
	15% ^b	30% ^b	45% ^b	SEM
Días de duración	141	141	141	
Replicas	6	6	6	
Peso vivo, kg ^c				
Inicial	225.7	224.4	226.2	2.2
Final	424.5	417.4	417.3	5.6
GDP, kg	1.41	1.37	1.36	0.03
Consumo de materia seca, kg/d	6.99	7.07	7.14	0.13
Conversión alimenticia, kg/kg ^d	4.97	5.19	5.27	0.07
Eficiencia alimenticia, kg/kg ^d	0.202	0.193	0.190	0.003
Energía neta de la dieta, Mcal / kg				
Mantenimiento ^c	2.14	2.07	2.04	0.02
Ganancia ^d	1.46	1.40	1.38	0.02
EN de la dieta observada/esperada				
Mantenimiento ^e	1.02	0.97	0.95	0.01
Ganancia ^d	1.03	0.96	0.93	0.01

^a La mezcla de forraje y grasa amarilla (FGA) contenía un 80% de heno de alfalfa picado (en el medio) y un 20% de grasa amarilla.

^b Porcentaje de la dieta en materia seca

^c El peso inicial y final se redujo un 4% para inhibir del contenido ruminal.

^d Efecto lineal, $p < 0.05$.

^e Efecto lineal, $p < 0.01$.

Cuadro 4. Influencia del contenido de AG libres en los efectos de la grasa suplementaria en la respuesta productiva en novillos en finalización.

TX	% de AG libres en grasa suplementada				SD
	T1 0%	T2 42%	T3 28.5%	T4 15%	
Peso vivo, Kg					
Día 1	372.8	374.5	378.3	372.7	12.3
Día 56 ^b	421.1	439.5	441.4	428.8	14.2
Día 144 ^b	527.5	555.5	551.1	538.7	18.5
GDP, kg/d					
Día 1-56 ^{cd}	.86	1.16	1.13	1.00	.11
Día 56-144 ^d	1.22	1.33	1.25	1.25	.10
Día 1- 144 ^{de}	1.08	1.26	1.20	1.15	.08
Consumo de materia seca, Kg/d					
Día 1-56 ^{de}	6.37	7.20	7.03	6.60	.41
Día 56- 44 ^d	8.40	8.36	8.14	8.26	.35
Día 1- 44 ^d	7.61	7.90	7.71	7.61	.32
Conversión Alimenticia, Kg					
Día 1- 56 ^e	7.38	6.22	6.37	6.61	.67
Día 56- 144 ^b	6.94	6.35	6.54	6.62	.43
Día 1- 144 ^{dc}	7.07	6.30	6.44	6.61	.32

^b Efecto grasa suplementaria, p <0.10.

^c Efecto grasa suplementaria, p <.01.

^d Efecto lineal en niveles de AG libres, p <.10.

^e Efecto grasa suplementaria, p <0.05.

Informe de Experimento

Running title: Grease trap waste in finishing lambs

Grease trap waste (griddle grease) as 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.

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, México.

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

R.A. Zinn. Department of Animal Science, University of California, Davis, USA

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

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

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 gain weight, but linearly increased gain efficiency and estimated dietary net energy (NE). However, the ratio of observed-to-expected diet NE decreased with increasing level 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-hearth 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% than energy value assigned by current standards for tallow and yellow grease.

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

Introduction

Due to increasingly stringent environmental regulations, restaurants and cafeterias place traps in the rinse water lines to collect grease (Coker 2006). 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/year of waste fat is recovered as GT (Tran et al. 2016). GT has greater concentrations of moisture, impurities, and unsaponifiabiles (lower total fatty acid concentration), and approximately three-fold greater free fatty acid concentration than conventional feed fat (tallow/ yellow grease; Zinn and Plascencia 2007). Some variation in composition of GT is attributable to process used for GT recovery, and final process applied before distribution (Henriksson 2016). Plascencia et al. (1999) observed that the estimated net energy 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 net energy, 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 samples analyses

Forty-eight Pelibuey × Katahdin [37.7 ± 3.4 kg (initial shrunk body weight)] 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 1×10^6 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; TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY Electronics Inc, Houston TX, USA), blocked by weight and assigned within weight groupings to 24 pens (2 lambs/pen, 6 pens/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, Mexico), contained 6.4% moisture, 3.1% impurities, and 79.8% total fatty acids. 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 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 (CP; 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). Chemical composition (moisture, impurities and total fatty acids) of supplemental fat sources were assayed by Industrial Analyses Laboratory (Culiacán, Sinaloa, México).

Calculations

Average daily gain (ADG) was computed by subtracting the initial shrunk body weight (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 DMI.

The estimations of dietary net energy and expected dry matter intake (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 = (EM/NE_m) + (EG/EN_g), where EM (energy required for maintenance, Mcal/d) = 0.056×SBW^{0.75} (NRC 1985), EG (energy gain, Mcal/d) = 0.276×ADG× SBW^{0.75} (NRC 1985), NE_m (net energy of maintenance) and NE_g (net energy of gain) are the correspond estimated NE value 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 mature weight of 113 kg for Pelibuey × Katahdin male lambs (Canton and Quintal 2007). Dietary NE was estimated by means of the quadratic formula: $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2c$, where: $x = NE_m$, $a = -0.41EM$, $b = 0.877EM + 0.41 DMI + EG$, and $c = -0.877 DMI$ (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) of tested GT = $[(NE_m \text{ observed for each diet containing supplemental GT} - NE_m \text{ observed for the Control diet}) / Y] + 2.23$. 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 humanitarian sacrifice, lambs were skinned, and the gastrointestinal (GIT) organs were separated and weighed. After carcasses (with skinned, and the gastrointestinal (GIT) organs were separated and weighed. After carcasses (with 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, measure 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 be removed manually from the carcass, and then weighed and reported as a percentage 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 net energy, 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). Treatment effects were considered significant when the P-value was ≤ 0.05 , and tendencies were identified when the P-value was >0.05 and ≤ 0.10 .

Results and discussion

Chemical composition of TG 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 was lower in moisture (0.6 vs 6.5%) and total fatty acids (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 fatty acid content is inversely proportional with moisture (Henriksson 2016).

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 (linear effect, $P < 0.01$) 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 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 increasing level 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 increasing level of GT. This effect is expected, in as much as the NE value of dietary fat declines in a linear fashion with increasing level of supplementation (Zinn and Plascencia 2007), due to the inverse relationship between level of fat intake and intestinal fatty acid 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 fatty acid intake: $NE_g, \text{Mcal/kg} = [87.56 - 8.59 \times \text{FA intake (expressed as g/kg LW)}] \times 6.03$. The average FA intake in the present experiment were 0.96, 1.28, and 1.74 g/kg LW for the 2, 4 and 6% levels of supplementation, respectively. Accordingly, the corresponding NE_g value of GT are 4.78, 4.61 and 4.38 Mcal/kg, respectively. Using the replacement equation, the estimated NE for maintenance and gain (Mcal/kg) 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 net energy 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 net energy of maintenance and gain of fats in the current standards (NRC 2007) is 6.3 and 5.1 Mcal/kg, 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 fatty acid 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 increasing level of GT supplementation. Otherwise, carcass characteristics and shoulder composition were not affected by GT inclusion. Likewise, Plascencia et al. (1999) observed increased the KPH in feedlot cattle supplemented with 5% GT. Bhatt et al. (2011) and Estrada 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

GT 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 fatty acids and moisture content) should be considered. As with all supplemental fats, the net energy value of GT is a function of its total fatty acid concentration. The estimated NE of GT is 93% than energy value assigned by current standards (NRC 2007) for tallow and yellow grease.

Disclosure statement

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.

- 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
- 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.
- 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.).
- Coker, C. 2006. Composition grease trap wastes. *BioCycle*. 47:27.
- Estrada-Angulo, A., Félix-Bernal, J.A., Angulo-Escalante, M.A., Muy-Rangel, D., Castro-Pérez, 216 B.I., Ríos, F.G., Cerrillo, A., Zinn, R.A., and 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.
- Federation of Animal Science Societies (FASS). 2010. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching. 3rd ed. Champaign, IL, USA.
- 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. Env. Sci. Tec.* 47: 1191-1217. Henriksson, J. 2016. Characterization of composition of the fat-rich residues from grease separators. Degree project report. Linnaeus University, Sweden. <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.
- National Research Council (NRC).1985. Nutrient requirement of sheep. 6th rev. ed. Washington DC 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>. Accessed April 3 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.
- 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.
- Plascencia, A., Mendoza, G.D., Vázquez C, Zinn RA. 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 Symp. Conf. 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. Anim. Sci.* 24:834–843.
- 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.
- 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.
- Zinn, R.A., Barreras, A., Owens, F.N., and Plascencia, A. 2008. Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. *J. Anim. Sci.* 86:1-10.
- 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, USA.

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

Item	Grease trap waste level (g/kg of DM)			
	0	20	40	60
Ingredient composition, g/kg of DM				
Corn grain cracked	670	650	630	610
Sudangrass hay	80	80	80	80
Grease trap waste ^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 of DM ^c				
EN _m , Mcal/kg	1.96	2.04	2.13	2.21
EN _g , Mcal/kg	1.33	1.40	1.47	1.54
Nutrient composition, g/kg 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

DM: dry matter; Mcal: megacalorie.

^a Composition of grease trap waste was (%): Moisture=6.48; impurities=3.05; total fatty acids=79.80.

^b Mineralized salt contained: Ca, 13.58%; Na, 7.8%; Cl, 12.2%; P, 2.2%; Mg, 1.0%; K, 0.7%; CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%, KI 0.052%.

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

^d 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.

Table 2. Effect of supplementation level of grease trap level (GT) on growth performance, dietary energy and estimated net energy value of GT.

Item	Grease trap waste level (GT, g/kg diet DM)				SEM	P value	
	0	20	40	60		Linear	quadrade
Days on test	61	61	61	61			
Pen replicates	6	6	6	6			
Live weight, 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	0.2
Average daily gain, kg	0.207	0.202	0.206	0.230	0.015	0.29	0.34
Dry matter intake, kg/d	1.239	1.150	1.135	1.215	0.055	0.73	0.15
Gain to feed, kg/kg	0.167	0.176	0.181	0.189	0.005	<0.01	0.76
Observed dietary Net energy, Mcal/kg							
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 Net energy 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							
Maintenance		5.83	5.86	4.99			
Gain		4.70	4.72	3.97			

DM: dry matter.

^a Initial live weight (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 grease trap level (GT) on carcass characteristics of lambs.

Item	Grease trap waste level (GT, g/kg diet DM)				SEM	<i>P</i> value	
	0	20	40	60		Linear	quadrate
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

LM: m. longissimus thoracis ; KPH: kidney-pelvic-hearth fat.