

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



INCLUSIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE *Jatropha curcas* COMO FUENTE ENERGÉTICA Y PRECURSOR DE ÁCIDOS LINOLEICOS CONJUGADOS (CLA) EN DIETAS DE FINALIZACIÓN PARA OVINOS.

TESIS

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

PRESENTA:

M.V.Z. Heriberto Landeros López

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Director de Tesis

Dr. Alfredo Estrada Angulo

Co-director de Tesis

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

ENERO DE 2017

AGRADECIMIENTOS

A MIS ASESORES:

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Dr. Alfredo Estrada Angulo

Dra. María Alejandra López Soto

Dr. Alberto Barreras Serrano

Por sus enseñanzas, apoyo y paciencia, que incondicionalmente siempre me brindaron, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias

Mi más amplio agradecimiento para el Dr. Alejandro Plascencia Jorquera, cuya paciencia e invaluable y generoso apoyo ilimitado hicieron posible la realización de este trabajo de investigación pero sobre todo por ser un gran amigo, gran persona y un excelente profesor.

AL PERSONAL DOCENTE: A todos mis maestros de posgrado por ser parte fundamental en mi formación académica

A la Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez, por su atenta amabilidad y apoyo brindado en el trascurso de los estudios realizados

AL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS VETERINARIAS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA: por ser la institución que me brindo el apoyo logístico y académico hasta culminar la Maestría en Ciencias Veterinarias.

A LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA: por colaborar con las instalaciones
y el proceso de ejecución del trabajo de investigación.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA: Por la beca
otorgada durante mis estudios.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

MÁRIA ELODIA LÓPEZ RODRIGUEZ

HERIBERTO LANDEROS TAPIA

A MIS HERMANAS:

BLANCA YUMIRA LANDEROS LÓPEZ

LAURA ALICIA LANDEROS LÓPEZ

GLADYS LANDEROS

A MI SOBRINA

ARIANA GUADALUPEZ PÁEZ LANDEROS

Porque gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar una más de mis metas.

A ti LILIA ESMERALDA NUÑEZ GONZALEZ

Por ser mi principal razón para seguir adelante y apoyarme en los momentos difíciles con tu paciencia y consejos.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS: A todos sin excepción, a los que compartieron conmigo su anhelo y experiencias en estos años de estudio.

INCLUSIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE *Jatropha curcas* COMO FUENTE ENERGÉTICA Y PRECURSOR DE ÁCIDOS LINOLEICOS CONJUGADOS (CLA) EN DIETAS DE FINALIZACIÓN PARA OVINOS. Tesis presentada por **Heriberto Landeros López**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Director de Tesis

Dr. Alfredo Estrada Angulo

Co-director de Tesis

Dr. Alberto Barreras Serrano

Asesor

Dra. María Alejandra López Soto

Asesor

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN.....	4
HIPÓTESIS.....	5
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA	8
Aceites en la alimentación de rumiantes	8
Fuentes y tipos de aceites	9
Aceites utilizados en la alimentación de rumiantes	13
FERMENTACIÓN Y ABSORCIÓN DE LIPIDOS	15
Hidrólisis.....	15
Biohidrogenación (BH).....	17
Productos intermedios de Biohidrogenación ácidos linoleicos conjugados (CLA)	19

Absorción y deposición de los ácidos linoleicos conjugados (CLA).....	27
Beneficios de los ácidos linoleicos conjugados (CLA) en la salud humana..	32
Aceite de semilla de <i>Jatropha curcas</i> como fuente de energía y precursor de ácidos linoleicos conjugados (CLA).	36
Disponibilidad de semilla aceite de <i>Jatropha curcas</i>	36
Características del aceite semilla de <i>Jatropha curcas</i>	37
LITERATURA CITADA	44
EXPERIMENTO 1.....	59
ABSTRACT:.....	60
INTRODUCTION	61
MATERIAL AND METHODS	62
Diets, animals, and experimental design	62
Sample analysis	63
Calculations	64
Statistical analysis	64
RESULTS	65
DISCUSSION	65
LITERATURE CITED.....	68
CUADRO COMPLEMENTARIO	76

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1 Composición en ácidos grasos (% de grasa verdadera) de algunas grasas de origen vegetal.....	9
2 Rendimiento promedio en la producción de aceite y biodiesel por hectárea.....	26
3 Propiedades físicas y químicas de Aceite de <i>Jatropha curcas</i>	27
4 Composición de ácidos grasos de aceite de semillas de <i>Jatropha curcas no tóxica</i>	29
5 Porcentajes de ácidos grasos en diferentes aceites vegetales.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Metabolismo de los lípidos en el rumen y el origen del ácido linoleico conjugado en los productos de rumiantes.....	22
2	Supuestas rutas de la biohidrogenación del ácido linoleico y el α -linolénico en vacas.....	23

RESUMEN

El objetivo de este experimento fue determinar el valor alimenticio de una variedad no tóxica extraída mecánicamente de aceite de *Jatropha curcas* (AJC) como fuente de energía para los corderos de engorde intensivo. Se utilizaron 20 corderos Pelibuey × Katahdin los cuales fueron alimentados individualmente con una dieta de finalización a base de maíz rolado en seco suplementado con AJC (dieta base de materia seca) a 0, 2, 4 y 6%. AJC adicional sustituyó maíz rolado seco en la dieta basal. La composición de ácidos grasos de AJC fue: C16:0, 14%; C18:0, 8.2%; C18:1, 26.0%; C18:2, 50.3%, y C18:3, 0.4%. El consumo diario de AJC promediaron 24.7, 51.1, y 77.3 g / día y 0.57, 1.08 y 1.62 g / kg de peso vivo para los niveles 2, 4 y 6% de suplementación, respectivamente. El AJC suplementario no afectó ($P = 0.33$) el consumo de materia seca (CMS), pero tendió a aumentar (efecto lineal, $P = 0.06$) la ganancia diaria de peso, la eficiencia de la ganancia (efecto lineal, $P < 0.01$) y la energía neta de la dieta (lineal efecto, $P < 0.01$), y disminuyó (efecto lineal, $P < 0.01$) consumo de materia seca en la relación entre observada/esperada. A niveles bajos (20 g / materia seca kg de dieta) de la suplementación con el valor de energía neta (EN) de AJC corresponde estrechamente (0.99) para el valor EN asignado para los estándares actuales (NRC, 2007), y este valor de EN disminuyó linealmente a medida que el nivel de inclusión de AJC aumentó. No hubo efectos del tratamiento sobre los metabolitos plasmáticos, a través de los

tratamientos, las concentraciones de hemoglobina (11.64 ± 1.08 g/dL), el hematocrito ($39.5 \pm 3.67\%$), glucosa (85.2 ± 17.64 mg / dL), la creatinina (1.43 ± 0.28 mg / dl), y urea (20.70 ± 4.35 mg/dL) se encontraban dentro de los valores normales (9-15, g/dL, 27 a 40%, 50 a 90 mg/dL, 1,0 a 1,8 mg/dL, y 15 a 50 mg/dL, para la hemoglobina, hematocrito, glucosa, creatinina y urea, respectivamente) para los corderos sanos. Sobre la base de CMS de rendimiento y de metabolitos plasmáticos observados en este estudio, AJC es una fuente adecuada de energía en dietas de finalización para corderos.

Palabras clave: *Jatropha*, aceite suplementario, corderos, finalización, valor alimenticio.

ABSTRACT

The objective of this experiment was to determine the feeding value of a mechanically extracted nontoxic variety of *Jatropha curcas* oil (JCO) as source of energy for feedlot lambs. Twenty Pelibuey × Katahdin lambs were individually fed a dry-rolled-corn-based finishing diet supplemented with 0, 2, 4, or 6% JCO (diet dry matter basis). Supplemental JCO replaced dry rolled corn in the basal diet. Fatty acid composition of JCO was: C16:0, 14.0%; C18:0, 8.2%; C18:1, 26.0%; C18:2, 50.3%, and C18:3, 0.4%. Daily intakes of JCO averaged 24.7, 51.1, and 77.3 g /day, or 0.57, 1.08 and 1.62 g/kg LW for the 2, 4 and 6% levels of supplementation, respectively. Supplemental JCO did not affect ($P = 0.33$) dry matter intake (DMI), but tended to increase (linear effect, $P = 0.06$) average daily gain, efficiency of gain (linear effect, $P < 0.01$) and dietary net energy (linear effect, $P < 0.01$), and decreased (linear effect, $P < 0.01$) the ratio of observed/expected Dry Matter intake. At low levels (20 g/kg diet dry matter) of supplementation the net energy (NE) value of JCO corresponds closely (0.99) to the NE value assigned by current standards (NRC, 2007), and this NE value decreased linearly as the inclusion level of JCO increased. There were not treatment effects on plasma metabolites. Across treatments, the concentrations of haemoglobin (11.64 ± 1.08 g/dL), haematocrit ($39.15 \pm 3.67\%$), glucose (85.2 ± 17.64 mg/dL), creatinine (1.43 ± 0.28 mg/dL), and urea (20.70 ± 4.35 mg/dL) were within normal (9-15, g/dL, 27-40%, 50-90 mg/dL, 1.0-1.8 mg/dL, and 15-50

mg/dL, for haemoglobin, haematocrit, glucose, creatinine, and urea, respectively) ranges for healthy lambs. Based on DMI, performance and plasma metabolites observed in this study, nontoxic JCO is a suitable source of energy in finishing diets for lambs.

Keywords: Jatropha, supplemental oil, lambs, finishing, feeding value

INTRODUCCIÓN

La alimentación de los rumiantes (ovinos y bovinos) en México, destinados a la producción lechera o de carne en forma intensiva, está basada principalmente en granos de cereales como el sorgo y el maíz como ingredientes energéticos principales de las raciones; sin embargo, la producción nacional de estos granos no satisface la demanda de la población ni la del sector ganadero, como consecuencia hay una gran dependencia de la importación de granos de cereales de los Estados Unidos de América (EUA) y otros países para la fabricación de alimentos de consumo animal, con lo cual el costo de producción es alto y es poco o nada rentable para los productores (Osuna, 2004; Villamar, 2004).

Actualmente en México, las engordas intensivas tienen la necesidad de incorporar otros ingredientes como la grasa animal o vegetal para aumentar los niveles energéticos de las raciones. Algunos de estos ingredientes son el aceite de soya, grasa animal (sebo), grasa amarilla, aceite de girasol y aceite de canola. Aunque el sebo y el aceite de soya son los ingredientes generalmente utilizados, estos presentan una serie de características que limitan su uso para la mayoría de los productores. La grasa animal a pesar de tener el mayor contenido de energía, su inconveniente es que no presenta una inocuidad estandarizada.

El aceite de soya no comparte esta problemática, pero tiene dos aspectos negativos, el primero es que al ser un producto de temporada su disponibilidad es segura durante una época específica del año; y segundo, su alto precio en el mercado, ya que la mayor parte de este se comercializa por medio de las importaciones que se obtienen de otros países como Estados Unidos de América (Osuna, 2004; Villamar, 2004;). En los últimos años en México y otros países se han desarrollado proyectos agrícolas para fomentar el cultivo de *Jatropha curcas* del genotipo no tóxico (FAO, 2010).

Datos sobre el valor nutricional comparativo del germen y de la harina de germen de genotipos tóxicos y no tóxicos de *J. curcas* demostraron que el valor nutritivo de estos materiales es muy bueno y que podrían utilizarse en alimentos balanceados y alimentos para humanos después de un tratamiento térmico.

La investigación para seleccionar una variedad de *Jatropha curcas* no tóxica de mejor rendimiento en semilla y aceite, para optimizar las prácticas agronómicas, incluyendo el manejo integrado de plagas y nutrientes, hará de estas *Jatropha curcas* no tóxicas una buena fuente de aceite para alimentación del ganado (Makkar, 1997).

Según (Makkar et al., 2011); el aceite está compuesto principalmente por los ácidos grasos insaturados ácidos oleico y linoleico con un 36.5 y 42.1%, respectivamente; lo cual indica beneficios a la salud al consumirse. Estas semillas se consideran como una fuente aceptable de aceite comestible

Sin embargo, hasta la fecha no hay estudios relacionados a la inclusión del aceite de *Jatropha curcas* en las raciones de rumiantes finalizados en corral y sus efectos en el comportamiento animal. Como también no existen trabajos sobre el perfil de ácidos grasos en la grasa de los animales bajo este tratamiento y muy escasa sobre estos valores relacionados con el sebo y aceite de soya.

JUSTIFICACIÓN

El alto costo de los cereales que se incluyen a las dietas de finalización de rumiantes ha dado como resultado la búsqueda de fuentes alternas de energía baratas y de alta disponibilidad. Las grasas se han venido utilizando comúnmente como sustitutos parciales de los cereales en las dietas de finalización; sin embargo, debido a los naturales procesos de hidrólisis ruminal incrementan la presencia de grasas saturadas en el producto final lo que se considera un impacto potencial negativo para la salud del consumidor. El contar con una fuente energética competitiva en precio con las grasas convencionales y que adicionalmente promueva la deposición de “grasas sanas” como los ácidos conjugados (CLAS) en los tejidos (como teóricamente representaría el uso del aceite de *Jatropha curcas*), impulsaría la explotación de un recurso nacional disponible y promovería la mejora del precio del producto final por cumplir con características deseadas por el consumidor final

HIPÓTESIS

La inclusión de aceite de semilla de *Jatropha curcas* del genotipo mexicano no tóxico tiene valor energético similar a las grasas convencionales utilizadas en dietas de finalización para ovinos de rumiantes y representan una fuente importante de ácidos linoleicos conjugados (CLA) que modifican el perfil de ácidos grasos en la canal.

OBJETIVO GENERAL

Llevar a cabo un estudio para evaluar la inclusión de aceite de semilla de *Jatropha curcas* del genotipo mexicano no tóxico como fuente de energía y fuente de ácidos linoleicos conjugados (CLA) en dietas de finalización para ovinos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar nutrimentalmente el aceite semilla de *Jatropha curcas* no toxica incluido en distintos niveles mediante una prueba de comportamiento que incluya la evaluación del consumo, ganancia, eficiencia alimenticia asi como la retención de la energía de la dieta en ovinos de pelo en finalizacion.

2. Evaluar nutrimentalmente el aceite semilla de *Jatropha curcas* incluido en distintos niveles mediante la evaluación de las características de la canal y de masa visceral en ovinos de pelo en finalización

REVISIÓN DE LITERATURA

Aceites en la alimentación de rumiantes

Las grasas que se adicionan a las dietas de los rumiantes pueden tener diferente procedencia o procesamiento, y por consiguiente una composición muy variable (Plascencia, 2005)

Las grasas animales se obtienen de subproductos de tejidos animales durante el procesado de la carne y dependiendo la materia prima procesada se obtiene sebo de vacuno, manteca de cerdo y grasa de aves, tanto puros como mezclados; el aceite de pescado no se utiliza normalmente debido a su precio, inestabilidad y porque se caracteriza por transferir un sabor desagradable al producto final (Dolz, 1996).

Las grasas o aceites vegetales se extraen de semillas oleaginosas a través de procesos mecánicos o químicos (FEDNA, 1996). Los aceites vegetales son utilizados principalmente en la industria de la alimentación humana por lo que se tienden a recuperar para reutilizarse en la industria pecuaria; sin embargo, pueden tener composición muy variable debido a su origen y procesamiento térmico al que han sido sometidos (Dolz, 1996). Los aceites crudos son, en general, lo que suelen presentar mayor calidad dado que no han sido sometidos a utilización previa alguna, no son mezclas y se suelen procesar

correctamente. El más utilizado es el aceite de soya, aunque también se encuentra de colza, girasol y linaza, todos ellos con una alta cantidad de ácidos grasos insaturados. Por lo contrario, los aceites de coco y palma tienen una alta cantidad de ácidos grasos saturados, con oportunidades de utilización diferentes a los anteriormente mencionados (Dolz, 1996).

Fuentes y tipos de aceites

Aceite y oleínas de soya

El aceite de soya es la grasa de origen vegetal que procede de la extracción previa al refinado del aceite para consumo humano. En función de los precios de las grasas en los mercados mundiales, es frecuente encontrar ofertas competitivas en el mercado nacional. Como consecuencia de su estructura química, insaturación y contenido en triglicéridos es la fuente lipídica de elección en animales jóvenes, como pollos de primera edad y lechones destetados precozmente (Monari, 1994).

Las oleínas de soya son un subproducto del proceso de refinado del aceite. Su aspecto es mucho más oscuro que el del aceite del cual proceden. Una razón es que durante el proceso de refinado las oleínas retienen y concentran los colorantes iniciales. Durante el proceso se separan los ácidos grasos libres, responsables de la acidez, de los triglicéridos mediante la adición de NaOH. Son productos que mantienen gran parte de las ventajas

nutricionales de los aceites de los cuales proceden. La mayor diferencia es el menor contenido en triglicéridos de las oleínas lo que implica un valor energético inferior, especialmente para monogástricos jóvenes. Por otra parte, al ser un subproducto exige controles de calidad más rigurosos a fin de evitar mezclas no deseadas con otras fuentes lipídicas o la entrega de productos deficientemente procesados (exceso de humedad, impurezas, sulfato sódico, insaponificables y acidez mineral) (Espuny, 1986)

Aceite y oleínas de oliva

Proceden de la industria de la aceituna. Las oleínas se obtienen mediante procesos de refinado puramente físicos, que incluyen un prensado y posterior destilación de los ácidos grasos presentes en el aceite (Christakis et al., 1982). Por motivos de precio, sólo las oleínas son ofertadas a la industria de piensos. Estas oleínas se caracterizan por su alto contenido en oleico (rango entre 65 y 82%) y un aceptable aunque amplio rango en linoleico (entre 4 y 17%). Su contenido en insaponificables suele ser elevado, debido en parte al alto contenido en esqualenos. Su valor energético es inferior al de las oleínas de soya.

Aceite y oleínas de girasol

El aceite rara vez se oferta como tal, pero su uso es frecuente como parte de la semilla entera. Es un aceite insaturado, con mayor contenido en

linoleico que el aceite de soya (58 % vs 53. En los últimos años han aparecido en el mercado semillas híbridas ricas en oleico (superior al 80%) y con bajas cantidades en linoleico (inferior al 5-6%). El contenido energético de estos aceites y oleínas, aunque inferior al del girasol clásico, sigue siendo elevado ya que es la insaturación y no solamente el contenido en ácido linoleico el factor a considerar (FEDNA, 1996).

Aceite y oleínas de palma

Son grasas sólidas a temperatura ambiente caracterizadas por su alto contenido en palmítico y bajo-medio en linoleico. No debe confundirse el aceite de palma con el aceite de palmiste. El primero se obtiene de la pulpa del fruto. El aceite de palmiste se obtiene de la almendra y se caracteriza por su alto contenido en ácidos grasos saturados de cadena muy corta, con más de un 60% de láurico más mirístico (Sheele et al., 1995). El aceite de palma es un producto de importación rara vez utilizado en alimentación animal. Por su alto precio, su uso se restringe a productos lácteos reengrasados. Las oleínas, sin embargo, son de uso común en alimentos balanceados para ganado. Las presentaciones comerciales son distintas, variando el contenido en ácidos grasos libres entre el 50% (oleínas de palma) y más del 90% (hidrolizados de palma). A veces el producto se oferta parcialmente hidrogenado. A mayor hidrólisis e hidrogenación, menor valor energético en monogástricos. Las oleínas se obtienen durante el proceso de refinado del aceite, que es un

procedimiento de naturaleza física. Una vez hidrogenadas parcialmente, o en forma de jabón, son lípidos de elección en alimentación de rumiantes.

Aceite de linaza

Procede de la semilla de lino y normalmente se utiliza en la industria de pinturas y barnices. Recientemente su uso se ha visto incrementado en piensos para ponedoras debido a su alto contenido en ácido linolénico de la serie omega-3 (en torno al 50%). Sin embargo, la transformación del linolénico dentro del organismo animal en ácidos grasos de interés (DHA y EPA) no es muy eficiente, por lo que el uso de este aceite para enriquecer la dieta en omega-3 está siendo cuestionado. Además, un exceso de linaza da a los huevos y a la carne un sabor a pescado característico, por lo que sus niveles de inclusión deben ser controlados (Aymond y Van Elswyk, 1995). A veces, como componente de la semilla, se utiliza en la elaboración de alimentos para caballos, becerros de engorda y cerdas a fin de mejorar el aspecto de la piel y del pelo.

Aceites utilizados en la alimentación de rumiantes

A nivel comercial son cada vez más frecuentes las ofertas de mezclas de oleínas que cumplen unas ciertas especificaciones (Cuadro 2). La soya, el maíz, el cártamo y el girasol suelen utilizarse como fuentes de linoleico. La oliva, la palma, el cacahuete, el coco, el orujo de uva y el algodón son otras posibles fuentes a utilizar para rumiantes; sin embargo, el empleo es restringido en la dietas de rumiantes debido al elevado costo de estos aceites, lo cual aumenta el costo en las explotaciones ya que por otra parte estos insumos en su mayoría tiene un uso competitivo con la alimentación humana lo cual sería una alternativa viable emplear aceites vegetales que no provengan de materias primas que se relacionan con alimentación en humanos.

Las posibilidades de mezclas son infinitas pero en general quedan definidas por su contenido en linoleico. Así, se ofrecen oleínas 50%, 35% y 20% para gallinas ponedoras, multiuso y monogástricos adultos, respectivamente. Es bastante frecuente, en situaciones comerciales prácticas, que estas mezclas incorporen productos de origen animal. De aquí el nombre común de grasoleínas para estas mezclas. En cualquier caso es importante mantener un buen control de calidad. Este control debe dirigirse por un lado a asegurar que el perfil graso es el requerido y por otro a confirmar la bondad del producto. A este particular, aparte de los controles habituales, deben controlarse específicamente la cantidad total de material no nutricional en la grasa alimentaria (NEM por sus siglas en ingles), los insaponificables y los ácidos grasos trans y de cadena impar, indicativos de la utilización indeseada de

grasas de freiduría sobre utilizadas, residuos de destilación, breas procedentes de las industrias de procesamiento de la grasa, etc.

Cuadro 1 Composición en ácidos grasos (% de grasa verdadera) de algunas grasas de origen vegetal

Ácidos grasos	Concentración de ácidos grasos (%)							
	Algodón	Soya	Girasol	Colza	Oliva	Palma	Linaza	Lecitinas de soya
C<14	-	-	-	-	-	<i>tr.</i>	-	<i>tr.</i>
C14:0	1	<i>tr.</i>		<i>tr.</i>	<i>tr.</i>	1	<i>tr.</i>	<i>tr.</i>
C16:0	23,8	10,1	6,1	5	10	42,5	6,5	18
C16:1	1,0	<i>tr.</i>	<i>tr.</i>	<i>Tr</i>	<i>tr.</i>	<i>tr.</i>	<i>tr.</i>	<i>tr.</i>
C18:0	2,5	4,5	4	2	3,5	4,8	5	4,3
C18:1	18,8	22,4	22,5	57,5	79	40,1	21	17,8
C18:2	50,2	53	62,2	20,5	6,3	9,7	13	51
C18:3	<i>tr.</i>	7,8	<1,0	8,5	<i>tr.</i>	<i>tr.</i>	51	7,5
C≥20	<i>tr.</i>	1,1	1,1	4,6	<i>tr.</i>	<i>tr.</i>	1,0	<i>tr.</i>

(FEDNA, 1996)

FERMENTACIÓN Y ABSORCIÓN DE LÍPIDOS

Hidrólisis

La hidrólisis de los lípidos ocurre por acción de lipasas, galactosidasas y fosfolipasas producidas por bacterias ruminales, principalmente *Anaerovibrio lipolytica* y *Butyrivibrio spp.* (Yokohama y Johnson, 1988) y el resultado de este proceso produce ácidos grasos libres (no esterificados) y glicerol. Los lípidos de forrajes, cereales y semillas quedan expuestos a la acción microbiana cuando la matriz vegetal ha sido masticada y degradada. La actividad lipolítica se ve influenciada por el estado de madurez del forraje, el contenido en nitrógeno y por el tamaño de las partículas alimenticias en el rumen (Jenkins, 1993), pero generalmente no es un paso limitante de la digestión ruminal de las grasas. Elliot et al. (1999) y Beam et al. (2000) han demostrado que la velocidad de hidrólisis ruminal está directamente relacionada con el grado de insaturación; los aceites son hidrolizados más rápidamente que el sebo y no se detecta hidrólisis alguna de glicéridos saturados (hidrogenados). Curiosamente, el aceite de pescado es hidrolizado a niveles comparables al sebo; quizás esto sea debido a la disposición especial de los ácidos grasos de cadena larga (C20-C22) insaturados de estos lípidos. Por otra parte, Van Nevel y Demeyer (1996) observaron que la lipólisis disminuía para pH ruminales inferiores a 6 y que este proceso era más sensible a valores de pH bajos. Siendo la lipólisis un paso esencial para la biohidrogenación, entonces, los factores que afectan a la lipólisis, afectan el grado de biohidrogenación puesto

que la disponibilidad del grupo carboxilo es necesario para el proceso (Demeyer y Henderickx, 1967).

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). Los efectos tóxicos de los aceites insaturados sobre la actividad microbiana quedaron demostrados en los trabajos clásicos de Ikwuegbu y Sutton (1982), estos investigadores suministraron a ovejas 0, 13, 26 ó 40 mL/día de aceite de linaza observando una disminución (efecto lineal) en la digestibilidad ruminal y de tracto total de la fibra ácido detergente (FAD) al aumentar la ingesta de linaza, observaron adicionalmente una disminución de la relación acético: propiónico y desaparición de los protozoos ruminales.

En el rumen tienen lugar varios procesos que tienden a reducir esa toxicidad, por ejemplo, mientras que los lípidos esterificados se encuentran principalmente en el fluido ruminal, los ácidos grasos aparecen asociados a la superficie de las partículas; las células microbianas y las partículas alimenticias compiten por la adsorción de los ácidos grasos (Harfoot et al., 1974). Al aumentar la cantidad de partículas alimenticias (vgr. forrajes) en el contenido ruminal, disminuye la adsorción de ácidos grasos sobre los microorganismos disminuyendo así su efecto tóxico.

Un mecanismo adicional que reduce los efectos tóxicos de los ácidos grasos es la formación de sales insolubles carboxiladas (principalmente jabones cálcicos). Los ácidos grasos del sebo generalmente no inhiben la digestión de la fibra cuando se suministran en forma de sales insolubles de calcio (Zinn y Plascencia, 1992; Weiss y Wyatt, 2004). Consistente con lo anterior, Doreau et al. (1993), compararon los efectos de suministrar a vacas productoras de leche aceite de colza libre o en forma de jabones de calcio, y observaron que la digestión de la fibra no resultaba alterada cuando los ácidos grasos fueron ofrecidos como jabones de calcio

Biohidrogenación (BH)

El proceso de detoxificación de mayor importancia lo es la biohidrogenación ya que es el mecanismo mediante el cual los microorganismos ruminales saturan los AG insaturados C18 hasta ácido esteárico (Polan et al., 1964) y los ácidos grasos saturados son menos tóxicos para los microorganismos ruminales que los insaturados. De hecho, las bacterias ruminales almacenan los lípidos primariamente en forma de ácidos grasos saturados.

Aunque la capacidad de hidrogenar numerosos isómeros posicionales ha sido descrita (Harfoot y Hazlewood, 1997), el modelo de mayor interés es la biohidrogenación del ácido linoleico (cis 9, cis12 18:2) como a continuación se describe:

- 1) Isomerización a cis 9, trans 11 18:2

2) Reducción a trans 11 18:1

3) Reducción a 18:0 (ácido esteárico).

A menudo en el paso 3 intervienen microorganismos diferentes a los de los pasos 1 y 2. Además, bajo determinadas condiciones de alimentación (alto nivel de aceites, baja proporción de forrajes, pH bajo), la acumulación de t11 18:1 puede ser importante. El primer intermediario, c9, t11 18:2 ("ácido linoleico conjugado" o "CLA") se acumula en cantidades más bajas. Su interés actual es grande ya que es un potencial agente anticancerígeno (Jiang et al., 1996). Algunos de los factores de mayor importancia que afectan la tasa de biohidrogenación son el pH ruminal (Van Soest y Demeyer, 1996), población microbiana (Latham et al., 1972), naturaleza de los lípidos consumidos (Byers y Shelling, 1988; Jenkins, 1993) y tasa de pasaje (recambio ruminal de ácidos grasos; Harfoot y Hazlewood, 1997) entre otros.

En contraste con la extensiva absorción ruminal de los ácidos grasos de cadena corta (<10 C), los ácidos grasos de cadena larga no son absorbidos hasta alcanzar el intestino delgado (Bickerstaffe et al., 1972). De tal manera que el metabolismo ruminal modifica en gran medida el perfil de los ácidos grasos de las grasas dietéticas (Wu et al., 1991; Plascencia et al., 1999b); representando el mecanismo de biohidrogenación el factor que determina el perfil de ácidos grasos saturados de la grasa de los rumiantes y el principal factor que influye en la digestibilidad intestinal de la grasa en rumiantes.

Productos intermedios de Biohidrogenación ácidos linoleicos conjugados (CLA)

Un área que nuevamente ha llamado la atención es la de establecer los caminos de la BH y la identidad de los intermediarios. Los estudios *in vivo* han revelado que una amplia gama de isómeros C18:1 *trans* están presentes en el contenido de la digesta del bovino y de los ovinos. Estos estudios, muestran que existen muchos más intermediarios en el contenido ruminal sin embargo, es difícil o determinar el origen de un intermediario específico de la BH en el contenido ruminal cuando las dietas contienen una multitud de ácidos grasos.

Muchos de los avances que están determinando el origen de los intermediarios de la BH fueron acompañados por estudios de cultivos puros en el cual el medio contenía un solo ácido graso en el substrato. Un enfoque alternativo es que isotópicamente se han etiquetado uno o más carbonos en un sustrato de ácidos grasos y entonces luego traza la etiqueta del carbón para la transferencia de productos intermedios (Jenkins et al., 2008).

Ácido oleico

El ácido oleico en la BH a menudo se observa que procede directamente del ácido esteárico sin la formación de intermediarios (Kellens et al., 1986). Sin embargo, la isomerización *cis/trans* es común entre especies de bacterias, está bien demostrado que esto ocurre en un número limitado de bacterias ruminales. Las especies de bacterias adquieren la capacidad de la isomerización *cis* a

trans para alterar la permeabilidad de la membrana como un dispositivo de protección contra el crecimiento del medio ambiente de las bacterias ruminales (Okuyama et al., 1991). Una bacteria no ruminal como la *Pseudomonas strain*, puede transformar el ácido oleico a C18:1 *trans*-10, únicamente a pH bajos (Mortimer y Niehaus, 1972). La isomerización de *cis/trans* fue analizada en especies de bacterias desde el contenido ruminal de ovejas, únicamente *Fusocillus* T344 fue capaz de convertir el ácido oleico a C18:1 *trans*-11 (Kemp et al., 1975), esta producción del C18:1 *trans* desde el ácido oleico en el rumen probablemente depende de condiciones medioambientales específicas en el contenido ruminal que favorecen a la isomerización *cis/trans* (Jenkins et al., 2008).

La conversión del ácido oleico a C18:1 *trans* fue evaluada por Mosley et al., 2006) para probar lo anterior utilizaron ¹³C-etiquetado de ácido oleico y el C18:1 *trans*-9 en un cultivo ruminal. En este lote cultivado, la incubación del ácido oleico-1-¹³C (C18:1 *cis*-9) resultó en la detección del ¹³C en ácido esteárico con múltiples isómeros C18:1 *trans*, teniendo dobles ligaduras en las posiciones desde el C6 al C16. Además la adición del C18:1 *trans*-9 etiquetado-¹³C demostró la isomerización de la ligadura en el *trans*-9 para otros isómeros C18:1 *cis* y *trans* (Proell et al., 2002). Estos experimentos proveen además evidencias de isomerización *cis/trans* de ácido oleico por una mezcla de microorganismos ruminales, produciendo una amplia gama de isómeros C18:1 posición *trans*. Estudios adicionales demostraron que la isomerización del ácido oleico puede ser dramáticamente alterada por condiciones medioambientales

en el rumen. En continuo flujo de fermentadores ruminales, la isomerización del ácido oleico-1-¹³C a C18:1 *trans* fue restringido el doble enlace en la posición C10 con disminución de pH (6.5 a 5.5) y una disminución en la tasa de dilución (0.10 a 0.05/h; AbuGhazaleh et al., 2005).

La conversión del C18:1 *trans* a ácido esteárico es variable, Kemp et al (1984a) probaron la habilidad del *Fusocillus sp* para hidrogenar el C18:1 *cis* y *trans* a ácido esteárico. Los isómeros *cis*-5 a *cis*-13 y *trans*-5 a *trans*-13 todos fueron hidrogenados en cierta medida al final de la fase del cultivo y fueron incubadas por 3 h. Entre el 73 y 79% de los isómeros *cis*-5 a *cis*-11 fueron convertidos a ácido esteárico, sin embargo el *cis*-12 (30%) y el *cis*-13 (5%) resultaron pobremente hidrogenados. De los isómeros *trans*, 45% de *trans*-8, *trans*-9 y *trans*-10 fueron convertidos a ácido esteárico, pero otros isómeros fueron pobremente hidrogenados. *Cis*-2, *cis*-4 y *cis*-5 (90%) fueron convertidos a ácido esteárico. *Cis*-6 a *cis*-12 y *trans*-8 a *trans*-10 con el (75%) también fueron convertidos a ácido esteárico.

Se ha documentado que otros intermediarios participan en la BH del ácido oleico a parte del isómero C18:1 *trans*, incluyendo derivados de ácido esteárico (Jenkins et al., 2008). También se ha reportado la conversión de ácido oleico a ácido hidroxisteárico y cetoesteárico, la producción de estos ácidos representaron una pérdida neta de ácido oleico del 6 al 10% de un lote cultivado en rumen y hasta el 30% de pérdida neta de ácido oleico en cultivos de una mezcla de microorganismos ruminales (Jenkins et al., 2006). Alguna conversión

directa de ácido oleico a ácido esteárico no se han descartado, pero está claro que el ácido oleico puede ser transformado a una variedad de componentes lipídicos que no sean sólo ácido esteárico (Jenkins et al., 2008).

Ácido linoleico

A pesar de evidencias en el pasado, en la BH ruminal están envueltos procesos bioquímicos complejos, la participación de una amplia gama de ácidos grasos intermedios, las vías publicadas para la BH del ácido linoleico ha cambiado muy poco en las últimas décadas. Por ejemplo, la conversión de ácido linoleico a ácido esteárico incluyen únicamente dos intermediarios (CLA *cis*-9, *trans*-11 y C18:1 *trans*-11) en la ruta propuesta por Garton (1977) persistió en el tiempo y a menudo representado en una manera idéntica a las recientes publicaciones (Ribeiro et al., 2007). Hoy en día están bien identificados en el contenido de la digesta del ganado una amplia gama de C18:1 y de isómeros de CLA. Estudios *in vivo* e *in vitro* evidenciaron que isómeros de CLA tienen dobles ligaduras en posiciones que van desde C7, C9 a C12, C14, de acuerdo a todos los isómeros geométricos reportados de un total de 14 isómeros de CLA que fueron identificados en el contenido de la digesta del ganado o *in vitro*. La producción total *in vivo* de isómeros CLA se estima aproximadamente en 10 g/d para clases de CLA *cis-trans* y 5 g/d para clases de CLA *trans-trans* (Teter y Jenkins, 2006). En la mayoría de los casos, el CLA *cis*-9, *trans*-11 es el isómero más prevalente encontrado en el contenido ruminal del ganado y probablemente es el único isómero que puede ser

detectado en muchas técnicas cromatográficas. Así, el CLA *cis-9, trans-11* ha persistido en el tiempo como el único isómero CLA que se ha visto en la ruta de la BH, la disponibilidad de largas columnas (100 m o más) para GLC combinadas con nuevas técnicas en la espectrometría de masas han tenido la capacidad de separar e identificar isómeros menores de CLA (Jenkins et al., 2008).

Además del CLA *cis-9 trans-11*, otro isómero del CLA reportado que se deriva de la BH del ácido linoleico es el CLA *trans-10 cis-12* (Jenkins et al., 2008). A su vez Griinari y Bauman (1999) propusieron que el CLA *cis-9 trans-11*, es originado desde el ácido linoleico con la eventual conversión a C18:1 *trans-10*. Más tarde Kim et al. (2002) demostraron la producción significativa de CLA *trans-10 cis-12*, por algunas cepas de *Megasphaera elsdenii*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* y aislamientos de *Lactobacillus* desde otros hábitats que también se han mostrado para formar CLA *trans-10 cis-12* (Jiang et al., 1996; Coakley et al., 2003; Ando et al., 2004). Porque estos géneros ocurren en el rumen, aunque generalmente a una tasa baja, ellos pueden contribuir para la BH específicamente a la formación en el rumen del CLA *trans-10 cis-12*. *Propionibacterium*, *Streptococcus* y *Lactobacillus*, también son los más numerosos en el rumen cuando se alimentan con dieta de concentrados (Stewart et al., 1997), el cual de nuevo consiste con mayor producción de CLA *trans-10 cis-12*, cuando se alimenta con dietas de concentrados (Jenkins et al., 2008).

Otros muy pocos intermediarios de la BH del ácido linoleico han sido documentados. El *Butyrivibrio fibrisolvens* produce CLA *trans-9 trans-11*, desde el ácido linoleico en concentraciones de una décima parte aproximadamente (Wallace et al., 2007). Además la especie *Bifidobacterium breve* se aisló del contenido intestinal humano convirtiendo el ácido linoleico a CLA *cis-9 trans-11* y CLA *trans-10 cis-12*, el cual entonces fueron isomerizados a CLA *trans-9 trans-11*, bajo condiciones de crecimiento anaerobio. Ogawa et al. (2001) reportaron que la formación del C18:1 *cis-12* hidroxilado desde el ácido linoleico es por el *Lactobacillus acidophilus*, el cual ellos especularon fuertemente que el intermediario inicial en la BH del ácido linoleico está subsecuentemente oxidado a CLA *cis-9 trans-11*.

En un estudio reciente realizado en la Universidad de Clemson, Se incubó ácido linoleico-1-¹³C con una mezcla de microorganismos ruminales cultivados para determinar la identidad de isómeros CLA formados desde el ácido linoleico fueron enriquecidos de ¹³C y la identidad estructural de la posición de las dobles ligaduras y su geometría fueron determinadas por ionización química cromatografía de gas-espectro de masas, siete isómeros de CLA fueron enriquecidos indicando su formación desde el ácido linoleico, todos los isómeros de CLA enriquecidos presentaron dobles ligaduras en cualquiera de las posiciones 9, 11 o 10, 12, dentro de cada clase de isómero posicional (por ejemplo., 9, 11 o 10, 12), estos estudios indicaron que todas las posibles combinaciones de *cis-trans* fueron representados excepto por *trans-9 cis-11* (Jenkins et al., 2008).

Ácidos grasos *n*-3

Según la mayoría de las rutas de la BH, inicialmente el ácido linoleico es transformado a 18:3 *cis*-9 *trans*-11 *cis*-15, por microorganismos ruminales, el cual subsecuentemente es hidrogenado para C18:2 *trans*-11 *cis*-15, no conjugado. Si es correcto, la BH del ácido linoleico produce un conjugado de dobles ligaduras en su camino inicial de la isomerización, pero no conduce a la formación de cualquier isómero de CLA. Determinar si el ácido linoleico y otros ácidos grasos *n*-3 que pueden producir CLA por efecto de la BH es de particular importancia debido a la amplia gama de metabolismos y efectos fisiológicos reportados por varios isómeros de CLA, el objetivo final sería la de regular la BH hasta el punto de que cualquier número deseado de isómeros de CLA podría ser entregado a los tejidos del cuerpo para lograr un resultado fisiológicamente deseado (Jenkins et al., 2008).

El deseo de centrarse en los principales productos intermedios y evitar las complicaciones de la BH ha llevado a la persistencia de muchas vías a lo largo de las décadas. Por ejemplo, Dawson y Kemp (1969) iniciaron la incubación del ácido linoleico¹⁴C con microorganismos del rumen, esto dio lugar a una desconcertante serie de ácidos grasos C18 con varios grados de insaturación y de isomerización posicional. A pesar de que hay pocos estudios, se han analizado isómeros C18:3 presentes en el contenido ruminal del ganado, lo que hace difícil ampliar las vías de la BH del ácido linoleico con algún grado de confianza (Jenkins et al., 2008).

Loor et al. (2004), encontraron que el flujo duodenal de tres isómeros C18:3 (C18:3 *cis*-9 *trans*-12 *cis*-15; C18:3 *cis*-9 *trans*-12 *trans*-15; C18:3 *trans*-9 *trans*-12 *trans*-15) en vacas lecheras alimentadas con dietas convencionales, cuando a estas vacas se alimentaron con aceite de linaza se observó un incremento en el flujo duodenal de los tres isómeros.

Destailats et al. (2005), describen que dos isómeros C18:3 conjugados estuvieron presentes en la grasa de la leche en bajas concentraciones (0.3%), identificado como C18:3 *cis*-9 *trans*-11 *cis*-15 y el isómero C18:3 *cis*-9 *trans*-13 *cis*-15; desde su aparición en la grasa de la leche, estos autores propusieron a ambos isómeros como intermediarios de la BH del ácido linoleico. Fueron Owska et al. (2006) quienes presentaron una visión alternativa de la BH del ácido linoleico en cepas de fluido ruminal, que condujeron a la acumulación de dos isómeros C18:3 (C18:3 *cis*-9 *trans*-11 *cis*-15; C18:3 *trans*-9 *trans*-11 *cis*-15) y un isómero C18:2 no conjugado (C18:2 *trans*-11 *cis*-15) pero no observaron acumulación de CLA *cis*-9 *trans*-11.

Los intermediarios formados a partir de la BH de los ácidos grasos que tengan más de tres dobles enlaces (tal como 20:5 y 22:6 en el aceite de pescado) son aún menos claros. Ambos, el 20:5 y 22:6 desaparecen sobre el tiempo cuando son incubados en cultivos de mezclas de microorganismos ruminales. AbuGhazaleh y Jenkins (2004) propusieron que podía ser debido a la isomerización, hidrogenación o acortamiento de la cadena. Si ello es consistente con el camino para el ácido linoleico, la isomerización inicial del

20:5 y 22:6 puede ser esperada para producir isómeros con 5 y 6 dobles enlaces con un mínimo de un doble enlace teniendo geometría *trans*.

Absorción y deposición de los ácidos linoleicos conjugados (CLA)

El ácido linoleico conjugado es un término colectivo que describe una mezcla de isómeros dienoicos, geométrica y posicionalmente conjugados, derivados del ácido linoleico. En 1935, la presencia de ácidos grasos con dobles ligaduras conjugadas fue reportada por primera vez en la leche de vacas pastoreando sobre pasturas en primavera (Booth et al., 1935) y un trabajo posterior de Parodi (1977) demostró que ese ácido graso fue CLA *cis-9 trans-11*, principalmente. El CLA *cis-9 trans-11* es el isómero predominante, representando del 75-90% del total de CLA en la grasa del rumiante y el CLA *trans-7 cis-9*, es el segundo isómero más prevalente representando del 3-16% del total de CLA. Para el isómero *cis-9 trans-11* del CLA se ha propuesto el nombre común de “ácido ruménico” debido a su relación única con los rumiantes (Kramer et al., 1998).

Muchos estudios examinaron la biohidrogenación ruminal de los PUFA durante los años 1970s y 1980s (Harfoot y Hazlewood 1988). La primera transformación que ocurre en el rumen es la hidrólisis de los enlaces éster por las lipasas microbiales para producir ácidos grasos libres (Tanaka, 2005; Figura 1).

La segunda transformación es la biohidrogenación de los PUFA. Los principales en la dieta de rumiantes son los ácidos LA y ALA. La ruta predominante para la biohidrogenación de esos ácidos se muestra en la Figura 2 (Tanaka, 2005). El CLA *cis-9 trans-11*, es un intermediario en la biohidrogenación del ácido LA a ácido esteárico. Parodi (1977) identificó al principal ácido graso octadecadinoico conjugado en la grasa de la leche como CLA *cis-9 trans-11*. Además, se ha observado una relación estrecha entre el contenido en la leche de C18:1 *trans-11* (ácido vaccénico) y CLA *cis-9 trans-11* (Solomon et al., 2000). Los intermediarios que escapan de la biohidrogenación completa en el rumen son absorbidos por el tracto digestivo y transportados a la glándula mamaria a través de la sangre. Se asumió que este fue el origen del CLA *cis-9 trans-11* en la grasa de la leche (ruta 1 en la Figura 2).

Alternativamente, estudios de cinética sobre la Δ^9 desaturasa derivada del hígado de rata demostraron que el C18:1 *trans-11* es convertido en CLA *cis-9 trans-11*, por esta enzima, aunque la conversión de ácido esteárico a ácido oleico representa la reacción sustrato-producto preferido (Pollard et al., 1980) presentándose este mismo mecanismo fisiológico en rumiantes (Park y Pariza, 2009). En esos estudios, el nivel de C18:1 *trans-11* (0.3-0.4 mg/g) fue marcadamente mayor que el de CLA (menos de 0.05 mg/g). Esto sugiere que las tasas de conversión de ácidos LA y ALA a C18:1 *trans-11* son más rápidas que de C18:1 *trans-11* a ácido esteárico. Entonces, el CLA *cis-9 trans-11* producido por la biohidrogenación ruminal del ácido LA es un intermediario transitorio, mientras que el C18:1 *trans-11* es acumulado en el rumen. Si el CLA

en los productos de rumiantes se origina del CLA que se escapa de la biohidrogenación incompleta del ácido CLA de la dieta en el rumen como ha sido reconocido generalmente, la concentración de CLA en el rumen también se ha visto que es baja. De esta manera, la mayor parte del CLA *cis-9 trans-11*, en la grasa de la leche se ha visto que se origina de la síntesis endógena a través de la Δ^9 desaturasa, y el C18:1 *trans-11* que deriva del flujo ruminal es el precursor para la síntesis endógena (Figura 1). La clave para incrementar el contenido de CLA *cis-9 trans-11* en la grasa de la leche podría ser aumentando el flujo ruminal de C18:1 *trans-11* e incrementando la actividad de la Δ^9 desaturasa en la glándula mamaria.

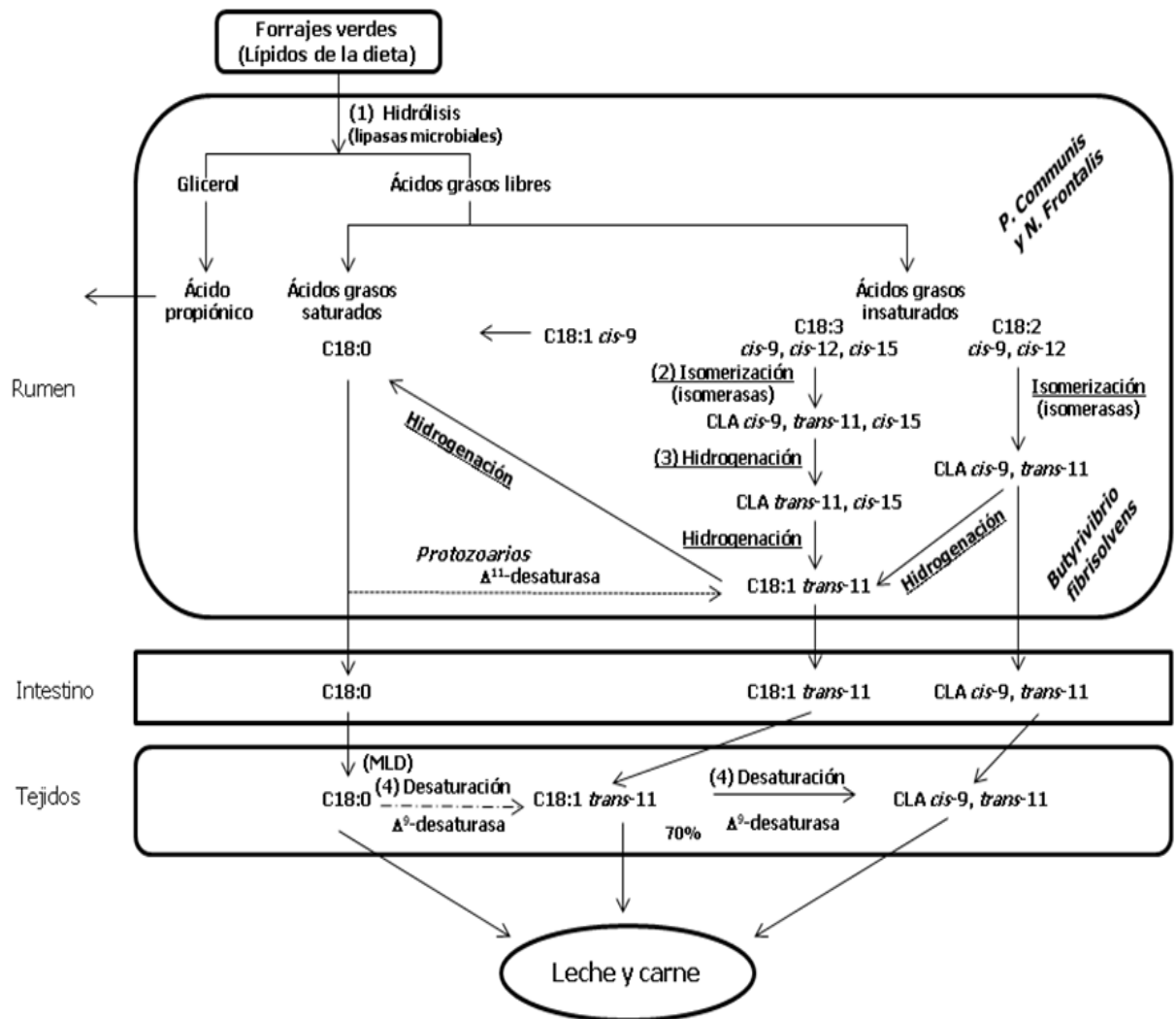


Figura 1. Metabolismo de los lípidos en el rumen y el origen del ácido linoleico conjugado en los productos de rumiantes (Kemp et al., 1984b; Griinari et al., 2001; Bauman et al., 1999, 2001; Tanaka, 2005; Elgersma et al., 2006; García et al., 2008; Margarida et al., 2007; Or-Rashid et al., 2007; Rico et al., 2007; Buccioni et al., 2008; Jenkins et al., 2008).

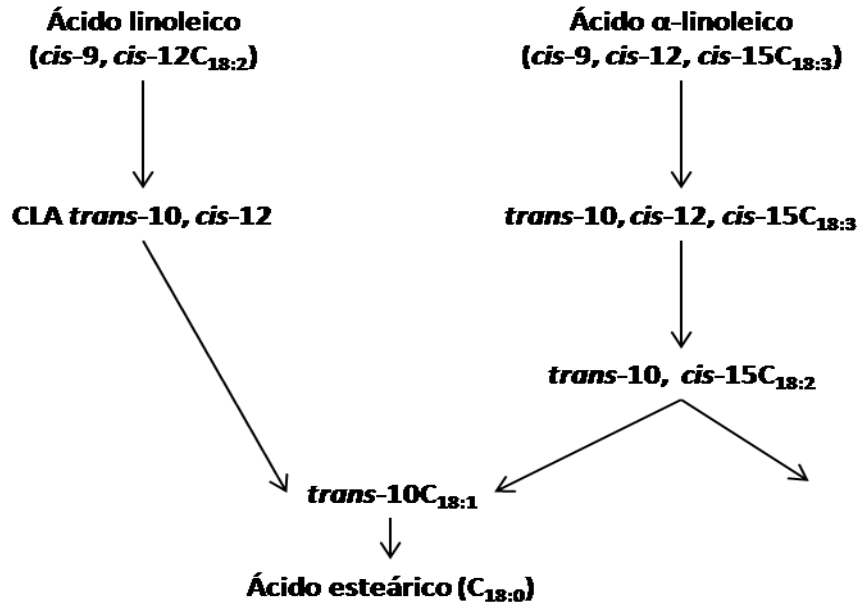


Figura 2. Supuestas rutas de la biohidrogenación del ácido linoleico y el α-linolénico en vacas (Tanaka, 2005).

Beneficios de los ácidos linoleicos conjugados (CLA) en la salud humana

Existen evidencias que el incrementar el consumo de FA *n*-3 protege del desarrollo de enfermedades cardiovasculares (CHD), el excesivo consumo de AG *n*-6 a expensas de *n*-3 puede promover el CHD y otras enfermedades crónicas (García et al., 2008). El CLA reduce lesiones severas de aterosclerosis en animales en experimentación (Bhattacharya et al., 2006; Park y Pariza, 2009), reduce el colesterol total y triglicéridos y lipoproteínas de baja densidad (LDL) e incrementa las lipoproteínas de alta densidad (HDL) en animales en experimentación (Kritchevsky, 2000; Park y Pariza, 2009). El CLA reduce los riesgos de aterosclerosis a través de la presión arterial o está envuelto por la participación del receptor de peroxisoma activado por proliferador (PPAR, clave para la lipogénesis), segmentación del elemento regulador de esteroides, proteínas de unión (SREBPs, clave para la síntesis de ácidos grasos y elongación), esteroil-CoA desaturasa (SCD, clave para la formación de colesterol y TG), LDL acetilada, acil-coenzima A: colesterol aciltransferasa, y / o hidrolasa de ésteres de colesterol (Navarro et al., 2007). Se ha sugerido que el isómero CLA *trans*-10 *cis*-12, es el responsable de estos efectos (Storkson et al., 2005).

El CLA reduce el riesgo de la aterosclerosis a través de la presión arterial o la participación del receptor de peroxisoma activado por proliferador (PPAR, clave para la lipogénesis), segmentación del elemento regulador de esteroides,

proteínas de unión(SREBPs, clave para la síntesis de ácidos grasos y elongación), esterol-CoA desaturasa(SCD, éster de colesterol aciltransferasa, y/o colesterol: clave para la formación de colesterol y TG), colesterol LDL acetilado, acil-coenzima A hidrolasa (Kritchevsky et al., 2004; Navarro et al., 2007; Park y Pariza et al., 2009). Por su parte Miller et al., (2003) mencionan que: 1) Las células cancerosas se derivan de ácidos grasos (FA) biológicamente importantes, desde la síntesis *de novo* o de la circulación hospedera.

2) El producto final de la síntesis *de novo* son palmitoleato y oleato, el cual también pueden derivar a palmitato y ácido esteárico, respectivamente, por la Δ^9 -desaturasa.

3) El análisis de la composición de los ácidos grasos de los lípidos celulares, claramente muestran un balance alterado, de saturado a ácido grasos monosaturados en tumores comparados con células no neoplásticas.

4) En particular, incrementos en las proporciones de ácido oleico fueron encontrados en tumores en experimentos.

5) De la línea celular hepatoma.

6) Las líneas de células transformadas viralmente, reflejan un posible incremento en la expresión o actividad de la Δ^9 -desaturasa.

En las últimas décadas, las cantidades de ácidos grasos saturados en los

productos de origen animal se han convertido en una importante preocupación de los consumidores e instituciones gubernamentales (Dilzer y Park 2012). Sin embargo, la presencia de isómeros de ácidos grasos como CLA, puede tener beneficios para la salud importantes, incluyendo anti-carcinogénesis, disminución del colesterol en sangre, y una acumulación de grasa corporal reducida (Drackley 2000). Fuentes de grasa en la dieta de los rumiantes alimentados con alto contenido en ácido linoleico (C18: 2) promueven mayores flujos hacia el intestino delgado de ácido vaccénico (t11 C18: 1) y ácido linoleico conjugado. Siguiendo desaturación endógena ($\Delta 9$ desaturasa), t11 C18: 1 se convierte en c9, t11 C18: 2 (Dhiman et al 2005; Bauman et al., 2006).

Debido a los beneficios de salud anticipados de CLA, los esfuerzos de investigación se han dirigido a la evaluación de esta contribución adicional de alimentos que son ricos en ácido linoleico, incluidos los forrajes (Khanal y Olson 2004; Ortega-Pérez et al 2010), y así como las grasas suplementarias. (Jenkins et al 2008; Wang y Lee 2015). El acoplamiento de las dos eficiencias de producción y el consumo de un producto de carne más saludable significaría una mejora significativa de vista económico para la industria de la carne de rumiantes (McGinley, 2003).

Las fuentes de grasa de aceite tales maíz, aceite de soya y aceite de sésamo, son buenas fuentes de C18: 2 (~ 45%), pero debido a un mayor costo, rara vez se utilizan como ingredientes en las dietas de rumiantes. En el presente experimento, el aumento de CLA en el músculo LM como resultado de

la suplementación AJC confirma que los isómeros trans y CLA se forman durante la biohidrogenación ruminal del C18: 2 resultando en gran incorporación de los CLA en la carne. En consonancia con el presente estudio, Kott y col. (2003) también se observó aumento de la concentración de CLA en el Músculos Longissimus M sin cambios en C18: 0 de concentración en corderos alimentados con dietas con alto contenido en ácido linoleico (con el 21% de las semillas de cártamo).

Del mismo modo, la concentración de CLA en la carne aumentó linealmente en corderos alimentados con dietas suplementadas con aceite de soja, aceite de pescado, y aceite de canola (fuentes de grasa que tienen un C18: 2 concentración similar a la de AJC utilizado en el presente experimento; Ferreira et al 2014; Adeyemi et al. 2015).

Aceite de semilla de *Jatropha curcas* como fuente de energía y precursor de ácidos linoleicos conjugados (CLA).

Disponibilidad de semilla aceite de *Jatropha curcas*

Dada las desventajas que presentan el uso de cultivos de interés alimentario para la obtención de biodiesel, una alternativa viable es el cultivo de *Jatropha curcas*, oleaginosa que presenta características favorables para la producción de biodiesel entre otras, las características fisicoquímicas del aceite de su semilla y su contenido de aceite, así como algunas características agronómicas de la planta, la hacen una buena fuente alterna para la producción de energía renovable (Heller, 1996; Parawira, 2010).

Jatropha curcas no es la planta con el mayor contenido de aceite en sus semillas, ni tampoco la planta con los mejores rendimientos en la producción de aceite y biodiesel por hectárea (Cuadro 3). Sin embargo, cuando se toman en cuenta parámetros como la fracción comestible de la planta, sus requerimientos nutricionales para crecer, etc. Al final se tiene una planta con una serie de cualidades que la hace un buen candidato para la producción de aceite para obtener biodiesel.

Cuadro 2. Rendimiento promedio en la producción de aceite y biodiésel por hectárea.

Especie	Rendimiento de aceite (%, p/p)	Rendimiento de aceite (kg ha)	Rendimiento de biodiésel (kg ha)
Palma aceitera	ND	10, 504	13,338
Oliva	ND	7,039	5,631
Jatropha	43.8	2,163	1,731
Sésamo	63.8	1,606	1,285
Almedro	62.9	1,553	1,242

Recalculado de Winayanuwattikun et al. (2008).

Características del aceite semilla de *Jatropha curcas*

Los datos recogidos a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas muestran el contenido del aceite de semilla de *J. curcas* el cual se determinó a 63,16 %(Cuadro 3). El contenido de aceite de semilla de *J. curcas* es más alto que el de las semillas de lino, soya y palma, que es del 33,33 %, 18,35 % y 44,6 %, respectivamente (Gunstone, 1994).

Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas de Aceite de *Jatropha curcas*.

Parámetro	Valor
% AG como ácido oleico	2.3± 0.02
Índice de yodo	103.63±0.07
Índice de saponificación	193.55± 0.61
Índice de peróxidos	1,93±0.012
Contenido de aceite (Semilla %)	63.16±0.35
Densidad a 20°C (g/ml)	0.90317
Viscosidad a la temperatura ambiente (cp)	42.88
Estado físico a temperatura ambiente	Líquido

Los valores son la media ± desviación estándar de determinaciones por triplicado

El germen de la semilla, la parte de la planta con mayor potencial de utilización contiene de 40-60% de aceite con una composición de ácidos grasos similar a los usados en la nutrición humana (Hass et al., 2000). Como se observa en cuadro 4. El aceite está compuesto principalmente por los ácidos grasos insaturados ácidos oleico y linoleico con un 36.5 y 42.1%, respectivamente; lo que indica los beneficios a la salud que este aceite puede brindar al consumirse por lo que estas semillas se consideran con un potencial para ser consideradas como una fuente de aceite comestible de buena calidad (Makkar et al., 2011); ya que ambos ácidos grasos son esenciales para un buen funcionamiento en el cuerpo, la reducción tanto de colesterol total como de enfermedades coronarias (FAO, 2012).

Cuadro 4. Composición de ácidos grasos de aceite de semillas de *Jatropha curcas* no tóxica

Ácido graso (%)	<i>Jatropha curcas</i> no tóxica
Mirístico	0.2
Palmítico	13.4
Heptadecanoico	0.1
Esteárico	6.4
Araquídico	0.2
Behénico	Trazas
Lignocérico	Trazas
Total Saturados	20.3
Palmítico	0.8
Oleico, 18:1n-9	36.5
Eicosenoico, 20:1n-9	0.1
Total Monoinsaturados	37.3
Linoleico, 18:2n-9	42.1
Alfa-Linoleico, 18:3n-3	0.2
Total Poliinsaturados	42.3

(Makkar et al., 2011).

La determinación de la composición de los ácidos grasos fue otra característica importante llevada a cabo en este estudio. Las propiedades de los triglicéridos y el combustible biodiesel están determinadas por las cantidades de cada ácido graso que están presentes en las moléculas. La longitud de la cadena y el número de enlaces dobles determinan las características físicas de los dos ácidos grasos y triglicéridos (Mittelbac y Remschmidt, 2004). La transesterificación no altera la composición de ácidos grasos de las materias primas y esta composición desempeña un papel en algunos parámetros críticos del biodiesel, como el número de cetano (indicador de la habilidad de los combustibles para autoencenderse) y el flujo frío de las propiedades (Ramos et al., 2008). La composición de ácidos grasos de aceite se muestra en el Cuadro 4, en comparación con otros aceites vegetales tales como aceite de palma, el aceite de girasol, el aceite de palma y el aceite de soya.

Cuadro 5. Porcentajes de ácidos grasos en diferentes aceites vegetales.

Ácido grasos	Aceite				
	Semilla de <i>Jatropha curcas</i>	Palmiste	Girasol	Soya	Palma
Oleico 18:1	44.7	15.4	21.1	23.4	39.2
Linoleico 18:2	32.8	2.4	66.2	53.2	10.1
Palmítico 16:0	14.2	8.4	-	11.0	44.0
Esteárico 18:0	7.0	2.4	4.5	4.0	4.5
Palmitoleico 16:1	0.7	-	-	-	-
Linolélico 18:3	0.2	-	-	7.8	0.4
Araquídico 20:0	0.2	0.1	0.3	-	-
Margárico 17:0	0.1	-	-	-	-
Mirístico 14:0	0.1	16.3	-	0.1	1.1
Caproico 6:0	-	0.2	-	-	-
Caprílico 8:0	-	3.3	-	-	-
Láurico 12:0	-	47.8	-	-	0.2
Capric 10:0	-	3.5	-	-	-
Saturado	21.6	82.1	11.3	15.1	49.9
Monoinsaturados	45.5	15.4	21.1	23.4	39.2
Poliinsaturados	33	2.4	66.2	61.0	10.5

Existen tres tipos principales de ácidos grasos que pueden estar presentes en un triglicérido que está saturado (Cn: 0), monoinsaturados (Cn:1) y poliinsaturados con dos otros enlaces dobles (Cn:2,3).

En un estudio reciente que se realizó en la India se determina que los principales ácidos grasos principales en aceite de semilla de *J. curcas* fueron los ácidos grasos oleico, linoleico, palmitico y el esteárico. El ácido oleico mostró el mayor porcentaje de composición de 42,8 % seguido de ácido linoleico con 32,8%. Por lo tanto, aceite de semilla de *Jatropha curcas* puede ser clasificado como aceite oleico-linoleico. En comparación con otros aceites vegetales la semilla del aceite de *J. curcas* tiene más alto oleico en comparación con el aceite palma, de almendra, de palma, de girasol, de coco y de soya. Por lo tanto el aceite de este vegetal mencionado podría ser utilizado en las dietas de los ovinos de pelo en engorda en finalización sin ningún inconveniente., evaluando su composición nutrimental y la aceptable incorporación de este aceite en la dietas de los ovinos.

LITERATURA CITADA

- AbuGhazaleh, A. A., M. B. Riley, E. E. Thies, and T. C. Jenkins. 2005. Dilution rate and pH effects on the conversion of oleic acid to trans C18:1 positional isomers in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 88:4334-4341.
- Adeyemi, K. D., A. B. Sabow., R. M. Shittu., R. Karim and Q. Sazili. 2015. Influence of dietary canola oil and palm oil blend and refrigerated storage on fatty acids, myofibrillar proteins, chemical composition, antioxidant profile and quality attributes of semimembranosus muscle in goats. *J. Anim. Scie. Biotec.* 6:51
- Ando, A., J. Ogawa, S. Kishino, and S. Shimizu. 2004. Conjugated linoleic acid production from castor oil by *Lactobacillus plantarum* JCM 1551. *Enzyme Microb. Technol.* 35:40-45.
- Aymond, W. and M. V. Elswyk. 1995. *Poultry Sci.* 74, 1388-1394
- Bauman DE, AL bloqueo. *Química Avanzada lácteos.* 3. 2. Springer, Nueva York; 2006. El ácido linoleico conjugado: biosíntesis y la importancia nutricional. Fox y McSweeney; pp. 93-136. Tipo Ref: serie (libro, monografía)
- Beam, T.M., T.C. Jenkins, P.J. Moate, R.A. Khon, and D.L. Palmquist. 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.

Bhattacharya, A., J. Banu, M. Rahman, J. Causey, G. Fernandes. 2006. Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *J. Nutr. Biochem.* 17:789-810.

Bickerstaffe, R., D.E. Noakes, and E.F. Annison.1972. Quantitative aspects of fatty acid biohydrogenation, absorption and transfer into milk fat in the lactating goat, with special reference to the cis- and trans- isomers of octadecenoate and linoleate. *Biochem. J.*130:607-617.

Booth, R.G., Kon, S.K, Dann, W.J, and Moore T. 1935. A study of seasonal variation in butter fat. A seasonal spectroscopic variation in the fatty acid fraction. *Biochemical Journal.* 29:133-137.

Broudiscou L., S. Pochet, and C. Poncet. 1994. Effect of linseed oil supplementation on feed degradation and microbial synthesis in the rumen of ciliate free and defaunated sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49:189-202.

Byers, F.M., and G.T. Shelling, 1988. Lipids in ruminant nutrition. Page 298 in *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition.* D.C. Church,

Christakis, G., Fordyce, N. an C. Kurtz. 1982. Aspectos biológicos del aceite de olive. Consejo Oleícola Internacional. Madrid, España.

- Coakley, M., R. P. Ross, M. Nordgren, G. Fitzgerald, R. Dever, and C. Stanton. 2003. Conjugated linoleic acid biosynthesis by humanderived Bifidobacterium species. *J. Appl. Microbiol.* 94:138-145.
- Dawson, R. M. C., and P. Kemp. 1969. The effect of defaunation on the phospholipids and on the hydrogenation of unsaturated fatty acids in the rumen. *Biochem. J.* 115:351-352.
- Demeyer, D.I., and H.K. Henderickx. 1967. The effect of C18 unsaturated fatty acids on methane production in vitro by mixed rumen bacteria. *Biochim. Biophys. Acta.* 137:484-497.
- Destailats, F., J. P. Trottier, J. M. G. Galvez, and P. Angers. 2005. Analysis of α -linolenic acid biohydrogenation intermediates in milk fat with emphasis on conjugated linolenic acids. *J. Dairy Sci.* 88:3231-3239.
- Dilzer, A. y Y. Park. 2012. la implicación de ácido linoleico conjugado (CLA) en la salud humana. *Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y la nutrición* 52:488-513.
- Dolz S. 1996. Utilización de grasas y subproductos lipídicos en monogástricos. XII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España. URL: <http://www.fagro.edu.uy/~nutanimal/96capituloll.pdf> Fecha de consulta: 23/Marzo/2013

- Doreau, M., A. Ferlay, and Y. Elmeddah. 1993. Organic matter and nitrogen digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. *J. Dairy Sci.* 71:499-504.
- Elliott, J. P., J. K. Drackley, A.D. Beaulieu, G.C. Aldrich, and N.R. Merchen. 1999. Effect of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion in steers: Digestion of fatty acids, triglycerides, and energy. *J. Anim. Sci.* 77:1919-1929.
- Espuny, B. 1986. Grasoleínas. *Anaporc* 51, 79-84.
- FAO. 2010 <http://www.fao.org/docrep/019/as417s/as417s.pdf>. Consultado 05 de diciembre de 2016.
- FAO. 2012 <http://www.fao.org/docrep/017/i1953s/i1953s.pdf>. Consultado 06 de diciembre de 2016
- Ferreira E.M., A. V. Pires., I. Susin., R.S. Gentil., M.O.M. Parente., C.P. Nolli., R.C.M. Meneghini., C.Q. Mendes. C.V.D.M. Ribeiro. 2014. Growth, feed intake, carcass characteristic, and meat fatty acid profile of lambs fed soybean oil partially replaced by fish oil blend. *Anim. Feed Sci. Technol.* 187:9-18
- García, P.T., J.J. Casal, S. Fianuchi, J.J. Magaldi, F.J. Rodríguez, J.A.Ñancucho. 2008. Conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids in muscle lipids of lambs from the Patagonian area of Argentina. *Meat Science*:doi:10.1016/j.meatsci.2007.12.009.

Garnsworthy, P.C. 2002. Fats in dairy cow diets. Page 399 in Recent Developments in Ruminant Nutrition 4. J. Wiseman and PC Garnsworthy (Ed). Nottingham University Press. Hampshire, Engl

Khanal, R. C. and Olson, KC. Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk, meat and egg: A review. 2004 Pakistan journal of Nutrition, 3 (2):82-98.

Garton, G. A. 1977. Fatty acid metabolism in ruminants. Pages 337–370 in Biochemistry of Lipids II. Vol. 14. T. W. Goodwin, ed. University Park Press, Baltimore, MD.

Griinari, J. M., and D. E. Bauman. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. Pages 180–200 in Advances in Conjugated Linoleic Acid Research. Vol. 1. M. P. Yurawecz, M. M. Mossoba, J. K. G.

Gunstone, F.D. 1994. The chemistry of oils and Fats: Sources, composition, properties and uses. London: Blackwell Publishing Ltd.

Harfoot, C. G., and G. P. Hazlewood. 1988. Lipid metabolism in the rumen. Pages 285–322 in The Rumen Microbial Ecosystem. Elsevier Science publishing, New York, NY.

Harfoot, C.G., and G.P. Hazlewood. 1997. Lipid metabolism in the rumen. Page 382 in *The rumen microbial ecosystem*. P.N. Hobson, ed. Elsevier Applied Science. London, New York.

Harfoot, G.C., M.L. Crouchman, R.C. Noble, and J.H. Moore, 1974. Competition between food particles and rumen bacteria in the uptake on long-chain fatty acids and triglyceride. *Appl. Bact.* 37:633-641.

Hass W, Sterk H, Mittelbach M. 2000. Detoxification experiments with the seed oil from *Jatropha curcas* L. *Industrial Crops and Products*. 12: 111–118

Heller J (1996) *Physic Nut. Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

Ikwuegbu, O.A., and J.D. Sutton. 1982. The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on rumen metabolism in sheep. *Brit. J. Nutr.* 48:365-375.

Jenkins, T. C. R. J. Wallace, P. J. Moate and E. E. Mosley. 2008. BOARD-INVITED REVIEW: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 2008. 86:397–412.

- Jenkins, T. C., A. A. AbuGhazaleh, S. Freeman, and E. J. Thies. 2006. The production of 10-hydroxystearic acid and 10-ketostearic acids is an alternate route of oleic acid transformation by the ruminal microbiota in cattle. *J. Nutr.* 136:926-931.
- Jenkins, T.C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J.Dairy Sci.*76:3851-3863.
- Jiang, J., L. Bjoerck, R. Fonden, and Y. M. Emanuelson.1996.Occurrence of conjugated cis-9,trans-11-octadecadienoic acid in bovine milk: Effects of feed and dietary regimen *J. Dairy Sci.* 79: 438-445.
- Kellens, M. J., H. L. Goderis, and P. P. Tobback. 1986. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids by a mixed culture of rumen microorganisms. *Biotechnol. Bioeng.* 28:1268-1276.
- Kemp, P., D. J. Lander, and C. G. Orpin. 1984b. The lipids of the rumen fungus *Piromonas communis*. *J. Gen. Microbiol.* 130:27-37.
- Kemp, P., R. W. White, and D. J. Lander. 1975. The hydrogenation of unsaturated fatty acids by five bacterial isolates from the sheep rumen, including a new species. *J. Gen. Microbiol.* 90:100-114.
- Kim, Y. J., R. H. Liu, J. L. Rychlik, and J. B. Russell. 2002. The enrichment of a ruminal bacterium (*Megasphaera elsdenii* YJ-4) that produces the trans-10, cis-12 isomer of conjugated linoleic acid. *J. Appl. Microbiol.* 92:976–982.

- Kott, R. W., P. G. Hatfield.,J. W. Bergman., C. R. Flynn., H. Van Wagoner., J. A. Boles. 2003. Feedlot performance, carcass composition, and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds. *Small Rum. Resear.* 49:11-17
- Kramer, J.K.G., Parodi, P.W, Jensen, R.G, Mossoba MM, Yurawecz, M.P, and Adlof RO. 1998. Rumenic acid: A proposal common name for the major conjugated linoleic acid isomer found in natural products. *Lipids* 33, 853.
- Kritchevsky, D. 2000. Antimutagenic and some other effects of conjugated linoleic acid. *Brit. J. Nutr.* 83:459-465.
- Kritchevsky, D., S.A. Tepper, S. Wright, S.K. Czarnecki, T.A. Wilson, and R.J. Nicolosi. 2004. Conjugated linoleic acid isomer effects in atherosclerosis:Growth and regression of lesions. *Lipids.* 39:611-616.
- Latham, M.J. J.E. Storry, and M.E. Sharpe. 1972. Effect of low-roughage diet on the microflora and lipid metabolism in the rumen. *Appl. Microbiol.* 24:871-877.
- Loor, J. J., K. Ueda, A. Ferlay, Y. Chilliard, and M. Doreau. 2004. Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of trans fatty acid and conjugated linoleic acids in response to dietary forage:concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:2472-2485.

Makkar HPS, Becker K. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal Agriculture. Food Chemistry*. 45:3152–3157.

Makkar, HPS; Kumar, V.; Oyeleye, OO; Akinleye, AO; Angulo-Escalante, MA; Becker, K., 2011. *platyphylla Jatropha*, una nueva especie *Jatropha* no es tóxico: Propiedades físicas y químicas constituyentes incluyendo factores tóxicos y antinutricionales de semillas. *Food Chem*, 125 (1):. 63-71

Margarida, R.G., Maia, L.C, Chaudhary, C, Figueres, L, and Wallace, R.J. 2007. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie van Leeuwenhoek*. 91:303-314.

McGinley S. 2003. Improving meat quality with CLA. *Agricultural Experiment Station Research Report*.
https://cals.arizona.edu/pubs/general/resrpt2003/article3_2003.html.

Accessed 20 June 2016.

Miller, A., E. McGrath, C. Stanton, and R. Devery. 2003. Vaccenic Acid (t11-18:1) Is Converted to c9, t11-CLA in MCF-7 and SW480 Cancer Cells. *Lipids*, Vol. 38, no. 6.

- Mittelbach, M. & C. Remschmidt. 2004. Biodiesel. The comprehensive handbook. Boersedruck Ges. M.B.H., Vienna, pp. 27-35.
- Monari, S. 1994. Full fat soya handbook. Ed. ASA. Bruselas.
- Mortimer, C. E., and W. G. Niehaus. 1972. Enzymatic isomerization of oleic acid to trans-10-octadecenoic acid. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 49:1650-1656.
- Mosley, E. E., A. Nudda, A. Corato, E. Rossi, T. C. Jenkins, and M. A. McGuire. 2006. Differential biohydrogenation and isomerization of [U-13C] oleic and [1-13C]oleic-acids by mixed ruminal microbes. *Lipids* 41:513–517.
- Navarro, V., M.T. Macarulla, A. Fernandez-Quintela V.M. Rodriguez, E. Simon, M.P. Portillo. 2007. Effects of trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid on cholesterol metabolism in hypercholesterolaemic hamsters. *Eur. J. Nutr.* 46:213-219.
- Nevel, C.J., and D.I. Demeyer. 1996. Influences of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Reprod.*
- Ogawa, J., K. Matsumura, S. Kishino, Y. Omura, and S. Shimizu. 2001. Conjugated linoleic acid accumulation via 10-hydroxy-12-octadecanoic acid during microaerobic transformation of linoleic acid by *Lactobacillus acidophilus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 67:1246-1252.

- Okuyama, H., N. Okajima, S. Sasaki, S. Higashi, and N. Murata. 1991. The cis-trans isomerization of the double bond of a fatty acid as a strategy for adaptation to changes in ambient temperature in the psychophilic bacterium vibrio-sp strain abe-1. *Biochim. Biophys. Acta* 1084:13-20.
- Ortega-Pérez, R., B. Murillo-Amador, J.L. Espinoza-Villavicencio, A. Palacios-Espinoza, L. Carreón-Palau, E. Palacios-Mechetnov and A. Plascencia-Jorquera. 2010. Chemical composition and proportion of precursors of rumenic and vaccenic acids in alternative forages for the feeding of ruminants in arid ecosystems. *Trop. and Subtrop Agroecosystems*. 12:33-45.
- Osuna S. O. 2004. La problemática de la ganadería en México. IX Encuentro nacional de legisladores del sector agropecuario. Congreso del Estado de Sinaloa. Revista No. 16. Culiacán, Sinaloa, México. [En línea] http://www.congresosinaloa.gob.mx/ediciones/revista16/pdf/24_antes_othon.pdf
- Owska, I., M. R. G. Maia, K. M. Niedzwiedzka, M. Czauderna, J. M. C. Ramalho Ribeiro, E. Devillard, K. J. Shingfield, and R. J. Wallace. 2006. Influence of fish oil on ruminal biohydrogenation of C18 unsaturated fatty acids. *Br. J. Nutr.* 95:1199-1211.
- Palmquist, D. L. 1996. Utilizacion de lípidos en dietas de rumiantes. XII curso de Especializacion FEDNA, Madrid, 7 y 8 de Noviembre. p 2.

- Parawira W (2010) Biodiesel production from *Jatropha curcas*: A review. *Sci. Res. Essays*. 5: 1796-1808.
- Park, Y., and M.W. Pariza. 2009. Research review. Bioactivities and potential mechanisms of action for conjugated Fatty acids. *Food Sci. Biotechnol.* Vol. 18, No. 3, pp. 586-593.
- Park, Y., M.W. Pariza, and Y. Park. 2008. Co-supplementation of dietary calcium and conjugated linoleic acid (CLA) improves bone mass in mice. *J. Food Sci.* 73:C556-C560.
- Parodi, P.W. 2004. Milk fat in human nutrition. *Australian Journal of Dairy Technology*. 59:3-59.
- Parodi, PW. 1977. Conjugated octadecadienoic acids on milk fat. *Journal of Dairy Science*. 60:1550-1553.
- Plascencia, A., E. Alvarez y R.A. Zinn. 1991. Efecto de lecitina y grasa suplementaria sobre digestión de nutrientes y fermentación ruminal en dietas para cabras lactantes. *Rev. Cs. Agrop.* 3:49-58.
- Plascencia, A., M. Estrada, and R.A. Zinn. 1999b. 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.

- Polan, C.C., J.J. McNeill, and S.B. Store. 1964. Biohydrogenation of insaturated fatty acid by rumen bacteria. *J. of Bacteriol.* 88:1056-1064.
- Pollard, M.R., F.D. Gunstone, A.T. James, and L.J. Morris. 1980. Desaturation of positional and geometric isomers of monoenoic fatty acids by microsomal preparations from rat liver. *Lipids.* 15:306-314.
- Proell, J. M., E. E. Mosley, G. L. Powell, and T. C. Jenkins. 2002. Isomerization of stable isotopically labeled elaidic acid to cis and trans monoenes by ruminal microbes. *J. Lipid Res.* 43:2072-2076.
- Ramos, M.J., C. M. Fernández., A. Casas., L. Rodríguez., A. Pérez. 2008. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodisel properties. *Bioresource Tech.* 200:261-268
- Sheele, C., Kwakernaak, C. and M. Zumbano. 1995. Studies on the use of palm fots and mixtures of iats and oils in poultry nutrition. Sepelderholt report No. 63. ID-DLO branch Beekbergen. Netherlands.
- Solomon R, Chase LE, Ben-Ghedalia D, Bauman DE. 2000. The effect of nonstructural carbohydrate and addition of full fat extruded soybeans on the concentration of conjugated linoleic acid in the milk fat of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83. 1140-1146.

- Stewart, C. S., H. J. Flint, and M. P. Bryant. 1997. The rumen bacteria. Pages 10–72 in *The Rumen Microbial Ecosystem*. P. N. Hobson and C. S. Stewart, ed. Chapman and Hall, London, UK.
- Tanaka, K. 2005. Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminant products and its physiological functions. *Animal Science Journal*. 76:291-303
- Teter, B.B., Jenkins, T.C., 2006. CLA synthesis in ruminant microbial ecosystem. In: M.P. Yurawecz, J.K.G. Kramer, O. Gudmundsen, M.W. Parizaa and S. Banni (eds.) *Advances in conjugated linoleic acid research*. Vol. 3. AOCS Press, Champaign, IL, USA, pp 3-17
- Villamar A. L. 2004. Situación actual y perspectiva de la carne de ganado bovino en México. Coordinación general de ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. México, DF. [En Línea] <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/estudio/sitbov04.pdf>
- Wang, T. and H. G. Lee. 2014. Advances in research on cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid: a major functional conjugated linoleic acid isomer. *Crit. Rev. food sci. and Nutr.* 55, 720-731.
- Weiss, W.P., and D. J. Wyatt. 2004. Digestible energy values of diets with different fat supplements when fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:1446-1454.

- Winayanuwattikun P, Kaewpiboon C, Piriayakananon K, Tantong S, Thakernkarnkit Storkson, J.M., Y. Park, M.E. Cook, and M.W. Pariza. 2005. Effects of trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid (CLA) and cognates on apolipoprotein B secretion in HepG2 cells. *Nutr. Res.*
- Wu, Z., O. A. Ohajuruka, and D. L. Palmquist. 1991. Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:3025-3034.
- Yokoyama, M.T., and K.A. Johnson. 1988. Microbiology of the rumen and intestine Page125 in *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. D.C. Church, ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- Zinn, R. A. 1992. 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.

EXPERIMENTO 1

Running Head: Feeding value of *Jatropha* oil for lambs

Feeding value of supplemental *Jatropha curcas* crude oil in finishing diets for feedlot lambs

J. A. Félix-Bernal^{*}, A. Estrada-Angulo[†], M. A. Angulo-Escalante^{*}, B. I. Castro-Pérez[†],
H. Landeros-López[‡], M. A. López-Soto[‡], A. Barreras[‡], R. A. Zinn[§], and A. Plascencia^{*1}

^{*}Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Culiacán, Culiacán 80129, Sinaloa, México; [†]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán 1084, Sinaloa, México; [‡]Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21100, Baja California, México;

[§]Department of Animal Science, University of California, Davis 95616.

Publicado en el Journal of Animal Science 2016. 94:3875-3882

¹Corresponding author: alejandro.plascencia@uabc.edu.mx

ABSTRACT:

The objective of this experiment was to determine the feeding value of a mechanically extracted nontoxic variety of *Jatropha curcas* oil (JCO) as source of energy for feedlot lambs. Twenty Pelibuey × Katahdin lambs were individually fed a dry-rolled-corn-based finishing diet supplemented with 0, 2, 4, or 6% JCO (diet dry matter basis).

Supplemental JCO replaced dry rolled corn in the basal diet. Fatty acid composition of JCO was: C16:0, 14.0%; C18:0, 8.2%; C18:1, 26.0%; C18:2, 50.3%, and C18:3, 0.4%. Daily intakes of JCO averaged 24.7, 51.1, and 77.3 g /day, or 0.57, 1.08 and 1.62 g/kg LW for the 2, 4 and 6% levels of supplementation, respectively. Supplemental JCO did not affect ($P = 0.33$) dry matter intake (DMI), but tended to increase (linear effect, $P = 0.06$) average daily gain, efficiency of gain (linear effect, $P < 0.01$) and dietary net energy (linear effect, $P < 0.01$), and decreased (linear effect, $P < 0.01$) the ratio of observed/expected DMI. At low levels (20 g/kg diet dry matter) of supplementation the net energy (NE) value of JCO corresponds closely (0.99) to the NE value assigned by current standards (NRC, 2007), and this NE value decreased linearly as the inclusion level of JCO increased. There were not treatment effects on plasma metabolites. Across treatments, the concentrations of haemoglobin (11.64 ± 1.08 g/dL), haematocrit ($39.15 \pm 3.67\%$), glucose (85.2 ± 17.64 mg/dL), creatinine (1.43 ± 0.28 mg/dL), and urea (20.70 ± 4.35 mg/dL) were within normal (9-15, g/dL, 27-40%, 50-90 mg/dL, 1.0-1.8 mg/dL, and 15-50 mg/dL, for haemoglobin, haematocrit, glucose, creatinine, and urea, respectively) ranges for healthy lambs. Based on DMI, performance and plasma metabolites observed in this study, nontoxic JCO is a suitable source of energy in finishing diets for lambs.

Keywords: *Jatropha*, supplemental oil, lambs, finishing, feeding value

INTRODUCTION

Conventional fats (tallow, yellow grease, acidulated vegetable soapstock) are used as energy feedstuff in finishing diets for ruminants. When the price of grain is high, supplemental fats often have a least-cost advantage over cereal grains as energy sources. Based on current standards (NRC, 2007), energy values for supplemental fat for lambs are: total digestible nutrients (TDN), 195%; digestible energy (DE, Mcal/kg) 8.6; metabolizable energy (ME, Mcal/kg) 7.1, net energy for maintenance (NE_m) and gain (NE_g) 6.30 and 5.1 Mcal/kg, respectively. These values are based on an assumed intestinal fat digestion of 85% and the corresponding relationship to NE. However, empirical data generated in feedlot cattle show that intestinal fatty acid (FA) digestion is affected by level of supplementation (Plascencia et al., 2003, Zinn and Plascencia, 2007), and the saturate:unsaturate ratio of FA entering to the small intestine (Enjalbert et al., 2000; Zinn et al., 2000). Although biohydrogenation of unsaturated FA decreases with high concentrate diets (Jenkins, 1994), the processes of ruminal biohydrogenation are nevertheless extensive (65%, Plascencia et al., 1999), so that C18:0 is the principle fatty acid entering to the small intestine. At low levels of fat supplementation (<20 g/kg diet dry matter) intestinal digestibility of C18:0 is similar to that of unsaturated fatty acids. However, at greater levels of supplementation, digestibility of C18:0 declines from 81% up to 63.5% (Plascencia et al., 2003; 2004). And this is one of main causes for decreased energy value of supplemental fats as levels of supplementation increase (Zinn and Plascencia, 2007). Intestinal digestion of C18:0 is enhanced by increases in the proportion of C18:1 entering the small intestine (Zinn et al., 2000). It was demonstrated that supplemental fat with high concentration of linoleic acid (C18:2) promotes greater flows of C18:1 to small intestine, and this effect increases with high levels of supplementation (~7%; Kucuk, et al., 2004). Therefore, it is expected that fat sources that are high in linoleic acid may cause greater intestinal fatty acid digestion, especially

at higher levels of fat supplementation. Soy oil, corn oil, and sesame oil are examples of fat sources with high proportions C18:2 (~ 45%). But due to higher cost, they are seldom fed as energy supplements in ruminants diets. Oil extracted from *Jatropha curcas* seed (JCO) is likewise rich in C18:2 (45-55%). However, in as much as *Jatropha* oil is used mainly for fuel industry (largely produced for use as a biofuel), its cost is affordable as a supplemental energy source for livestock (King et al., 2009). Although *Jatropha curcas* seed cake obtained from nontoxic varieties can be safely fed to finishing lambs (Félix-Bernal et al., 2014), the feeding value of extracted oil as an energy source has not been evaluated. The objective of this experiment was to evaluate the feeding value of JCO obtained from the Mexican nontoxic genotype *J. curcas* as an energy source in a finishing diet fed to feedlot lambs.

MATERIAL AND METHODS

Diets, animals, and experimental design

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in Culiacán, México (24° 46' 13" N and 107° 21' 14" W). Culiacán is about 55 m above sea level, and has a tropical climate. All animal management procedures were conducted within the guidelines of approved local official techniques of animal care (NOM-051-ZOO-1995: Humanitarian care of animals during mobilization of animals; NOM-024-ZOO-1995: Animal health stipulations and characteristics during transportation of animals; NOM-EM-015-ZOO-2002: Technical stipulations for the control use of beta agonists in animals, and NOM-033-ZOO-1995, Humanitarian care and animal protection during slaughter process). Twenty intact male lambs (¼ Pelibuey × ¾ Kathadin, 40.7 ± 3 kg initial LW) were used. Thirty days before the starting of the experiment, lambs were treated for endoparasites (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, México). Fifteen days before starting of the study all lambs were fed the same basal diet (no JCO supplementation, Table 1). Upon starting of the experiment, lambs were weighed individually prior to the morning (0800 h) meal (electronic scale; TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY electronics Inc., Houston, TX, USA), blocked by weight into five uniform weight groupings and assigned within weight grouping to 20 pens (1 lamb/pen). Individual pens were 6 m² with overhead shade, automatic waterers and 1 m fence-line feed bunks. Dietary treatments consisted in a dry-rolled-corn-based finishing diet

supplemented with either 0, 2, 4, or 6% JCO. Supplemental JCO replaced dry rolled corn in the basal diet. Diets were maintained isonitrogenous by the addition of supplemental urea (Table 1). The JCO was obtained by mechanically pressing (German screw press type Komet DD 85 G; IBGMonforts, Oekototec. GmbH & Co. KG, An der Waldesruh 23 Mönchengladbach Nordrhein-Westfalen, Germany) of whole seed from a nontoxic variety (*Jatropha curcas*) harvested in San Ignacio, located in Sinaloa, México. Butylated hydroxytoluene (BHT, 0.02%, wt/vol) was added to prevent oxidation. White corn variety was prepared by passing whole corn through rollers (46 × 61cm rolls, 5.5corrugations/cm; Memco, Mills Rolls, Mill Engineering & Machinery Co., Oklahoma, CA) adjusted to provide an approximate rolled-grain density (as-is basis) of 0.62 kg/L. Sudangrass hay was ground in a hammer mill (Bear Cat #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 2.7-cm screen, before incorporation into complete mixed diets. The physicochemical composition of dry corn (DRC) replaced by JCO is shown in the footnote of Table 1. Dietary treatments were randomly assigned to lambs within weight groupings. The experiment lasted 56 days and lambs were weighed at the beginning of the trial and every 28 days thereafter. The initial live weight (LW) was converted to shrunk body weight (SBW) by multiplying the weight by 0.96 to adjust for the gastrointestinal fill (Cannas et al., 2004), and all lambs were fasted (drinking water was not withdrawn) for 18 h before recording the final LW. Lambs were allowed *ad libitum* access to dietary treatments. Daily feed allotments to each pen were adjusted to allow minimal (< 5 g/100g of offered feed) feed refusals. The amounts of feed offered and refused were weighed daily. Lambs were provided fresh feed daily at 0800 and 1400 h in a 40:60 proportion (as fed basis). Refusals were collected and weighed prior to the morning feeding and feed intake was determined daily.

Sample analysis

Ingredients and feed. Corn, JCO, and complete mixed diets were subjected to all or part of the following analyses: Dry matter (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); ash (method 942.05; AOAC, 2000); aNDFom [Van Soest et al., 1991, corrected for NDF-ash, incorporating heat stable α -amylase (Ankom Technology, Macedon, NY) at 1 mL per 100 mL of NDF solution (Midland Scientific, Omaha, NE)]; acid detergent fiber (ADF, method 973.18; AOAC, 2000); ether extract (method 920.39; AOAC, 2000), and starch (Zinn, 1990). Additionally, phorbol (highly toxic diterpene esters found in some plant oils) content of JCO was assayed according to Makkar et al. (2007). Fatty acids composition of JCO was determined according AOAC 963.22 (2000). Dry matter content (method 930.15; AOAC, 2000) of feed and feed refusal was determined daily.

Blood metabolites. Approximately 6 mL of blood was collected from the jugular vein of each individual in vacuum tubes (Vacumed® Lithium Heparin, FLMedical, Torreglia, Italy) on day 49 of the experiment, approximately 1 h before the morning meal. Hemoglobin and hematocrit were determined on freshly collected samples. Hemoglobin was determined using the cyanmethemoglobin method (Crosby et al., 1954). Hematocrit was determined according to the micromethod (McGovern et al., 1955). Heparinized

samples were immediately centrifuged for 15min at $3,000 \times g$ at 5°C , and plasma was stored at -20°C until analysis of glucose, creatinine and urea. Plasma metabolites were quantified by spectrophotometry (Varian Cary 1E UV-spectrophotometer, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) using Diagnostic kits (Bio Systems, México, Zapopan, Jalisco).

Calculations

Gain to feed ratio was determined by dividing ADG by the daily DMI. Expected DMI was determined based on observed ADG and average SBW according to the following equation: expected DMI, kg/d = $(EM/NE_m) + (EG/NE_g)$, where EM (energy required for maintenance, Mcal/d) = $0.056 \times SBW^{0.75}$ (NRC, 1985), EG (energy gain, Mcal/d) = $0.276 \times ADG \times SBW^{0.75}$ (NRC, 1985), NE_m (dietary net energy of maintenance) and NE_g (dietary net energy of gain) are 2.00 and 1.35; 2.08 and 1.42; 2.16 and 1.49, and 2.24 and 1.46 Mcal/kg for 0, 2, 4, and 6% JCO, respectively [derived from tabular values (NRC, 2007) based on the ingredient composition of the experimental diets (Table 1)]. The coefficient (0.276) was estimated assuming a mature weight of 113 kg for Pelibuey \times Katahdin male lambs (Estrada-Angulo et al., 2013). Observed dietary NE was estimated by of the quadratic formula: $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$, where $x = NE_m$, $a = -0.41EM$, $b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG$, $c = -0.877 DMI$, and $NE_g = 0.877 NE_m - 0.41$ (Zinn and Shen, 1998).

The comparative NE_m values for JCO were estimated using the replacement technique. Given that the NE_m value of DRC is 2.20 Mcal/kg (NRC, 2007; Plascencia et al., 2011), the comparative NE_m values for the JCO was estimated as follows: $JCO\ NE_m, \text{Mcal/kg} = [(Test\ Diet\ NE_m - Control\ diet\ NE_m)/JCO_y] + 2.20$, where JCO_y represent the proportion of JCO that replaced DR corn in the basal diet (0.02, 0.04, or 0.06), and 2.20 represent the NE_m of corn replaced by JCO. Dietary NE_g was derived from NE_m by the equation $NE_g = 0.877 NE_m - 0.41$ (Zinn et al., 2008).

Statistical analysis

Performance (DMI, ADG, gain to feed ratio, dietary NE, observed-to-expected dietary NE ratio, observed-to-expected DMI ratio), and plasma metabolites data were analyzed as a randomized complete block design considering lamb as the experimental unit. The MIXED procedure of SAS (SAS Institute 2004) was used to analyze the variables. The fixed effect consisted of treatment, and lamb as the random component. The statistical model for the trial was as follows:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + P_j + T_k + E_{ijk},$$

where: Y_{ijk} is the response variable, μ is the common experimental effect, L_i is the lamb effect, P_j is the period effect, T_k is the treatment effect and E_{ijk} is the residual error.

Treatment effects were tested for linear and quadratic components of JCO supplementation. Orthogonal polynomials 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

Composition of supplemental JCO is shown in Table 2. The moisture, impurity, and unsaponifiables (MIU) content of JCO was 1.42%, indicative of very high degree of initial oil refinement. No phorbol esters were detected in the supplemental JCO. The high linoleic acid content (50.3%) is comparable to that of corn, cottonseed, soybean and sunflower seed oil.

Treatment effects on growth performance and dietary NE are shown in Table 3. Daily intake of JCO averaged 24.7, 51.1, and 77.3 g/d, or 0.57, 1.08 and 1.62 g/kg LW for the 2, 4 and 6% levels of supplementation, respectively. There were no treatment effects on DMI ($P \geq 0.33$). However, JCO supplementation tended to increase (linear effect, $P = 0.06$) ADG, and increased (linear effect, $P < 0.01$) gain to feed ratio and dietary NE, and decreased (linear effect, $P < 0.01$) observed-to-expected DMI ratio. At the 2% level of supplementation, the estimated NE value of JCO corresponded closely (0.99) to the NE value assigned by current standards (NRC, 2007), but decreased linearly with increasing level of JCO inclusion.

There were not treatment effects ($P > 0.12$) on plasma metabolites (Table 4). Across treatments, the concentrations of haemoglobin (11.64 ± 1.08 g/dL), haematocrit ($39.15 \pm 3.67\%$), glucose (85.2 ± 17.64 mg/dL), creatinine (1.43 ± 0.28 mg/dL), and urea (20.70 ± 4.35 mg/dL). although measures were within the reference normal ranges for healthy lambs (Blood et al., 1983), power to detect a 5% difference in treatment effects with only 5 replications per treatment was limited ($\pi < 0.80$).

DISCUSSION

The absence of phorbol esters in the JCO used in the present experiment is consistent with findings by Goel et al. (2007), who reported very low (>0.27 mg/mg) or

non-detectable levels of phorbol esters in oil extracted from nontoxic varieties of *Jatropha curcas*, a species native to tropical regions of Mexico and Central America. The FA composition of JCO used in this study is consistent with reports for the species (Rodríguez-Acosta et al., 2010). The major fatty acid in JCO were C18:1 (26%) and C18:2 (50%). The ratio between the two may vary (more C18:1 than C18:2) depending on the region where the plant grows (Martínez-Herrera et al., 2006; Ovando-Medina et al., 2011). The JCO used in the present study was harvested in the Mexican state of Sinaloa. In a previous study, Soto-León et al. (2014) observed that the FA composition of JCO harvested in Sinaloa was of 8.7, 6.4, 34.0, and 50.8% for C16:0, C18:0, C18:1 and C18:2, respectively, in close agreement with the composition of JCO used in the present experiment.

Bulk density of the dry rolled white corn used in the study averaged 0.60 kg/L, in good agreement with target value of 0.62 kg/L. The physicochemical characteristics and nutrient composition of white corn used as ingredient of reference in this experiment was consistent with reports which used the same varieties and same methods of determination (Plascencia et al., 2011; Félix-Bernal et al. 2014).

To our knowledge, no information is available about the effects of supplemental JCO on performance. Mierlita et al. (2010) did not report an effect on feed intake in Tzigai lambs when fed sunflower (FA comparable to that of *Jatropha*) as a partial replacement for DRC in a growing-finishing diet. Bhatt et al. (2011) did not observe significant decreases in DMI of finishing Malpura lambs fed coconut oil (a highly saturated fat source) until level of supplementation reached 2.10 g/kg LW (7.5% oil in diet DM). Likewise, Machmüller and Kreuzer (1999) observed that DMI of sheep was not affected by coconut oil supplementation until level of supplementation exceeded 35 g/kg. In our study, the highest level of JCO supplementation (1.6 g/kg LW) was 77% the level that depressed DMI in the study reported by Bhatt et al. (2011).

Increased gain efficiency of cattle as result of fat supplementation would be expected due to increased diet energy density. However, it is common that fat supplementation also increases ADG (Zinn, 1988; Zinn et al., 2000; Andrae et al., 2001; Kott et al., 2003). In some instances, increased dietary fat did not affect lamb growth performance (Van Emon et al., 2012; Ferreira et al., 2014).

Based on lamb growth performance, the estimated NE_m and NE_g values of supplemental JCO averaged 5.80 and 4.68 Mcal/kg, respectively. These values are similar to those reported for yellow grease (a recycled vegetable oil) supplemented at similar levels in feedlot cattle diets (Zinn, 1989; Zinn et al., 2000). However, when the NE values of JCO were estimated at each level of supplementation, the NE_m and NE_g values linearly declined (6.20 and 5.02, 5.70 and 4.59, 5.53 and 4.44 Mcal/kg for 2, 4, and 6% JCO, respectively). As already stated, the energy value of supplemental oil was determined by difference, using the replacement technique. Accordingly, we assumed that the energy value of JCO was equal to the corresponding energy value of the dry rolled corn it replaced plus the change in energy content of the complete diet brought about by the replacement. Values may be greater than expected either if the energy value of the dry rolled corn used in the replacement was overestimated (NRC value too high) or if there were positive indirect or associative effects of supplemental fat on energy

value of the diet. According to the chemical analyses of dry rolled corn (shown in footnote of Table 1), the estimated NE_m (Mcal/kg) of corn used was 2.20 Mcal EN_m /kg [Using the equation: $0.0255ADF + 0.0325CP + 0.0704EE + 0.034NFE - 1.18$ [where nutrient concentration expressed as g/100g, EE is ether extract and NFE (nitrogen free extract) is equivalent to $100 - (ADF + CP + EE + ash)$; Zinn and Plascencia, 1993]. This result is identical to the value of NRC (2007) and to the value obtained for dry rolled white corn (Plascencia et al., 2011).

Much of the variation in NE values for supplemental fats can be attributed to differences in total fat intake (Zinn and Plascencia, 2007). Zinn (1994) tested three levels of animal-vegetable oil soapstock in finishing rations on growth-performance in feedlot steers. Increasing the level of supplemental fat depressed ADG, gain efficiency and dietary NE. Observed dietary NE_m was 100% of expected (based on tabular NE values and diet formulation) with 4% supplemental fat, but declined to 86% of expected with 12% supplemental fat. Therefore, the NE_m of soapstock declined from 5.65 Mcal/kg at the 4% level to 2.85 NE_m at the 12% level of supplementation. Likewise, Zinn and Plascencia (2004) observed that increasing the level of tallow supplementation from 3 to 9% decreased ADG, DMI, and feed efficiency of feedlot cattle. Observed dietary NE_m was 103% of expected with 3% supplemental fat, but declined to 90% of expected with 9% supplemental fat. The NE value of supplemental tallow declined in a rectilinear fashion from 6.41 Mcal/kg at the 3% level of supplementation to 3.44 Mcal/kg at the 9% level of supplementation. At 3% level of supplementation the NE_m value of supplemental fat was 8% greater than the expected tabular value (6.00 Mcal/kg; NRC, 1996). In contrast, at the 9% level of supplementation the NE_m value of fat was only 57% of the expected tabular value. Plascencia et al. (2003) observed that the decrease in feeding value of supplemental fat with increasing level of feed intake was primarily due to decreased digestibility of the saturated fatty acids (palmitic and stearic acid). Intestinal digestion of the unsaturated fatty acids remained high across levels of supplementation, whereas intestinal total fatty acid digestion was 82.6, 80.7, 75.5 and 67.4% a level of 0, 3, 6, and 9% supplemental fat, respectively. Using the replacement technique, the calculated NE_m (Mcal/kg) value of yellow grease based on observed dietary digestible energy averaged 6.10, 5.84, and 4.79 for 3, 6, and 9% of level supplementation, respectively. Similarly, intestinal FA digestion in lambs decreased 74.5 to 64.4% when level of soybean oil supplementation was increased from 3 to 9% of diet DM (Kucuk et al., 2004).

Given that 1 g of intestinally digestible fat has a ME value of 9 kcal (100% of its physiological fuel value) and the partial efficiency of utilization of ME from dietary fat for BW gain is 67% (Czerkowsky et al., 1966; Garrett, 1980; Zinn, 1994), the digestibility of dietary fat can be calculated as $NE_g/6.03$. Accordingly, applying the observed dietary NE_g values, the digestibility values for the JCO used in this study are 83.4, 76.1 and 73.6% for 2, 4, and 6% of level supplementation, respectively. The results of the present study indicate that feeding of JCO did not have had an adverse effect on the hematological parameters. Phorbol esters have been identified as the main toxic agent in some *Jatropha* varieties. Because phorbol ester may cause degenerative changes in a several organs (Goel et al., 2007), feeding some products (i.e. meal or seed cake) from toxic varieties of *Jatropha* promoted abnormal values of blood metabolites in goats and lambs (Katole et al., 2011; 2013). Even when the power to detect a 5%

difference in treatment effects on blood metabolites with only 5 replications per treatment was limited ($\pi < 0.80$), the normal ranges observed for haemoglobin content of blood, and serum concentration of urea, creatinine, and glucose in lambs fed JCO supplemented diets could corroborate the result of absence of toxic phorbol esters in the *Jatropha curcas* variety used in our experiment. Based on growth performance responses and plasma metabolites, we conclude, that nontoxic JCO is a suitable source of energy in finishing diets for feedlot lambs. The net energy value of JCO is in accordance with current tabular values for fats when supplemented at levels not greater than 4% of diet dry matter.

LITERATURE CITED

- Andrae, J. G., S. K. Duckett, C. W. Hunt, G. T. Pritchard, and F. N. Owens. 2001. Effects of feeding high-oil corn to beef steers on carcass characteristics and meat quality. *J. Anim. Sci.*79:582-588.[doi:/2001.793582x](https://doi.org/10.2527/2001.793582x)
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17th ed. Assoc. Off. Anal. Chem. Gaithersburg, MD.
- Bhatt, R. S., N. M. Soren, M. K. Tripathi, and S. A. Karim.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](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.11.021)
- Blood, D. C., O. M. Radostis, J. A. Handerson, J. H. Arunded, and C. C. Gay. 1983. Normal laboratory values. In: D. C. Blood, O. M. Radostis, and J. A. Hederson, editors, *Veterinary Medicine*, 6th ed. ELBS and Baillière, Tindall, Eastbourne, UK.
- Cannas, A., L. O. Tedeschi, D. G. Fox, A. N. Pell, and P. J. Van Soest. 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim Sci.*82: 149-169.
- Crosby, W. H., J. I. Wunn, and F. W. Furth. 1954. Standardizing a method for haemoglobinometry. *U.S. Armed Forces Med. J.* 5: 693-703.
- Czerkawsky, J. W., L. Blaxter, and F. W. Wainman.1966. The metabolism of oleic, linoleic and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production. *Br. J. Nutr.*20:349-361.
- Enjalbert, F., M. C. Nicot, C. Bayourthe, and R. Moncoulon. 2000. Effect of duodenal infusion of palmitic, stearic or oleic acids on milk composition and physical properties of butter. *J. Dairy Sci.*83:1428–33.
- Estrada-Angulo, A., Y. S. Valdés, O. Carrillo-Muro, B. I. Castro-Pérez, A. Barreras, M. A. López-Soto, A. Plascencia, H. Dávila-Ramos, F. G. Ríos, and R. A.

- Zinn.2013. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. *Anim. Prod. Sci.* 53: 308-315. doi.org/10.1071/AN12192
- Félix-Bernal, J. A., M. A. Angulo-Escalante, A. Estrada-Angulo, J. B. Heredia, D. Muy-Rangel, M. A. López-Soto, A. Barreras, and A. Plascencia. 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. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.10.004
- E. M., A. V. Pires, I. Susin, R. S. Gentil, M. O. M. Parente, C. P. Nolli, R. C. M. Meneghini, C. Q. Mendes, and C. V. D. M. Ribeiro. 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. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.016
- Garret, W.N. 1980. Energy utilization of growing cattle as determined in seventy-two comparative slaughter experiments. Page 3 in *Energy Metabolism*. Butterworths, London.
- Goel, G., H. P. S. Makkar, G. Francis, and K. Becker. 2007. Phorbol esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. *Int. J. Toxicol.* 26: 279–288.
- Jenkins, T. C. 1994. Regulation of lipid metabolism in the rumen. *J. Nutr.*124:1372S–1376S.
- Katole, S., S. K. Saha, V. R. B Sastry, M. H. Lade, and B. Prakash. 2011. Intake, blood metabolites and hormonal profile in sheep fed processed *Jatropha (Jatropha curcas)* meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 170: 21–26.
- Katole, S., S. Kumar, A. Das, V. Rama, M. Harida, and B. Prakash. 2013. Nutrient intake, digestibility, and blood metabolites of goats fed diets containing processed *Jatropha* meal. *Trop. Anim. Health Prod.* 45:1563-1569.doi:10.1007/s11250-013-0400-9
- King, A.J., W. He, J. A. Cuevas, M. Freudenberger, D. Ramiaramanana, and I. A. Graham.2009. *J. Exp. Botany.*60:2897-2905.doi:10.1093/jxb/erp025
- Kott, R. W., P. G. Hatfield, J. W. Bergman, C. R. Flynn, H. Van Wagoner, and J. A. Boles. 2003. Feedlot performance, carcass composition, and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds. *Small Rumin. Res.* 49: 11–17.
- Kucuk, O., B. W. Hess, and D. C. Rule. 2004. Soybean oil supplementation of a high-concentrate diet does not affect site and extent of organic matter, starch, neutral detergent fiber, or nitrogen digestion, but influences both ruminal metabolism and intestinal flow of fatty acids in limit-fed lambs. *J. Anim. Sci.* 82:2985-2994. doi:/2004.82102985x
- Lorenzen CL, JW Golden, FA Martz, IU Gruna, MR Ellersieck, JR Gerrish, KC Moore. 2007. Conjugated linoleic acid content of beef differs by feeding regime and muscle. *Meat Sci* 75, 159-167.

- Machmüller, A., and M. Kreuzer. 1999. Methane suppression by coconut oil and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 79:65–72.
- Makkar, H.P.S., P. Siddhuraju, and K. Becker. 2007. *Plant Secondary Metabolites. Methods in molecular Biology*. Ed. Humana Press. Totowa, New Jersey.
- Martínez-Herrera, J., P. Siddhuraju, G. Francis, G. Dávila-Ortíz, and K. Becker. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.* 96: 80-89.
- McGovern, J., A. R. Jones, and A. G. Steinberg. 1955. The hematocrit of capillary blood. *New Engl. J. Med.* 253:308-312.
- Mierlita, D., P. Ioan, D. Stelian, L. Florin, M. Cristina, and C. Ioan. 2010. Effect of dietary supplementation with different types of protected fat on bioproductive performances and quality of carcass in sheep. *Analele Univ. din Oradea, Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie si Tehnologii de Industrie Alimentara.* 9:455 – 462.
http://protmed.uoradea.ro/facultate/anale/ecotox_zooteh_ind_alim/2010/imapa/90%20Mierlita%20Daniel.pdf. (Accessed 24 February 2016).
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Natl. Acad. Press. Washington, DC.
- NRC. 2007. *Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Natl. Acad. Press. Washington, DC.
- NRC. 1985. *Nutrient requirement of sheep*. 6th ed. Natl. Acad. Press. Washington, DC.
- Ovando-Medina, I., A. Sánchez-Gutiérrez, L. Adriano-Anaya, F. Espinosa-García, J. Núñez-Farfán, and M. Salvador-Figueroa. 2011. Genetic diversity in *Jatropha curcas* populations in the State of Chiapas, Mexico. *Diversity* 3: 641-659.
- Plascencia, A., G. D. Mendoza, C. Vazquez, and R. A. Zinn. 2004. Influence of levels of fat supplementation on bile flow and fatty acid digestion in cattle. *J. Anim. Vet. Adv.* 3:763-768.
- Plascencia, A., G. Mendoza, C. Vazquez, and R. A. Zinn. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81:2653-2659. doi:/2003.81112653x
- Plascencia, A., M. Estrada, and R.A. Zinn. 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:/1999.77102603x
- Plascencia, A., R. Bermúdez, M. Cervantes, L. Corona, H. Dávila-Ramos, M. A. López-Soto, D. May, N. Torrentera, and R.A. Zinn. 2011. Influence of processing method on comparative digestion of white corn vs. conventional steam-flaked yellow dent corn in finishing diets for feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 89:136-141.

- Rodríguez-Acosta M., J. Sandoval-Ramírez, and R. Zeferino-Díaz. 2010. Extraction and Characterization of oils from three Mexican *Jatropha* Species. *J. Mex. Soc.* 54: 88-91.
- SAS. 2004. User's guide: statistics, version 9. SAS Inst. Cary, NC.USA.
- Sosa-Segura MP, BD Oomah, JGC Drover, JB Heredia, T Osuna-Enciso, JB Valdés-Torres, E Salazar-Villa, F Soto-Landeros, MA Angulo-Escalante. 2014. Physical and chemical characterization of three non-toxic oilseeds from the *Jatropha* genus. *J Food Nutr Res* 2, 56-61.
- Van Emon, M.L., P. J. Gunn, M. K. Neary, R. P. Lemenager, A. F. Schultz, and S.L. Lake. 2012. Effects of added protein and dietary fat on lamb performance and carcass characteristics when fed differing levels of dried distiller's grains with solubles. *Small Rum. Res.*103:164-168.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597.
- Zinn, R. A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66:213-227. doi:10.2134/jas1988.661213x
- Zinn, R. A. 1990. Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68:776-781.
- Zinn, R. A. 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.* 10:66-72. doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31938-0
- Zinn, R. A. S. K. Gulati, A. Plascencia, and J. Salinas. 2000. Influence of ruminal biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 78:1738-1746. doi:/2000.7871738x
- Zinn, R. A., A. Barreras, F. N. Owens, and A. Plascencia. 2008. Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. *J. Anim. Sci.* 86:1-10.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 2004. Influence of level and method of supplementation on the utilization of supplemental fat by feedlot steers. *J. Anim. Vet. Adv.* 3:473-477.
- Zinn, R. A., and A. Plascencia. 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle. In: *Veterinary Food Animal Practice*. L.C. Hollis and K.C. Olson, editors, Elsevier, Mosby Saunders. Phil. USA.
- Zinn, R. A., and Y. Shen. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.*76: 1280-1289.

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:10.2134/jas1989.6741029x

Table 1. Composition of experimental diets

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level (%)			
	0	2	4	6
Ingredient composition, %				
Dry-rolled corn ¹	72.00	70.00	68.00	66.00
<i>Jatropha</i> crude oil	---	2.00	4.00	6.00
Soybean meal	5.50	5.50	5.50	5.50
Sudan grass hay	12.00	12.00	12.00	12.00
Molasses cane	8.00	7.93	7.86	7.79
Urea	---	0.07	0.14	0.21
Trace mineral salt ²	2.50	2.50	2.50	2.50
Chemical composition ³ , % DM basis				
Crude protein	12.15	12.15	12.14	12.14
Ether extract	3.23	5.10	6.42	9.52
NDF	16.51	16.30	16.08	15.87
Calculated net energy ⁴ , Mcal/kg				
Maintenance	2.00	2.08	2.16	2.24
Gain	1.35	1.42	1.49	1.56

¹ Composition and density of dry-rolled corn were (%): DM, 89.1; OM, 96.8; CP, 8.8; NDF, 103.0; ADF, 4.1; starch, 69.4; ether extract, 3.8.; bulk density (g/L), 600.

² Mineral premix contained: CP, 50%; Calcium, 28%; Phosphorous, 0.55%; Magnesium, 0.58%; Potassium, 0.65%; NaCl, 15%; vitamin A, 1,100 IU/kg; vitamin E, 11 UI/kg.

³ 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.

⁴ Based on tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC, 2007)

Table 2. Composition of supplemental *Jatropha* crude oil

Item	<i>Jatropha</i> crude oil
Free fatty acids, %	6.58
Fatty acid, %	
C16:0	13.96
C16:1	0.49
C18:0	8.28
C18:1	26.00
C18:2	50.32
Others	0.95
Iodine value, g iodine/100 g fat	82.77
Moisture, %	0.30
Impurities, %	0.50
Unsaponifiable matter, %	0.62
Phorbols sters	ND

Table 3. Treatment effects on growth performance and dietary energy in drylot lambs fed different levels of *Jatropha curcas* crude oil

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level, %				SEM	Contrast <i>P</i> value	
	0	2	4	6		L	Q
Days on test	56	56	56	56			
Replicates	5	5	5	5			
Live weight, kg ¹							
Initial	40.95	40.81	40.59	40.43	0.36	0.29	0.97
Final	53.79	53.47	54.11	54.76	0.70	0.28	0.51
Daily gain, kg	0.225	0.226	0.241	0.256	0.011	0.06	0.56
Dry matter intake, kg/d	1.322	1.263	1.277	1.289	0.040	0.64	0.38
Gain to feed, kg/kg	0.170	0.179	0.188	0.199	0.005	<0.01	0.86
Observed dietary net energy, Mcal/kg							
Maintenance	2.02	2.10	2.16	2.22	0.028	<0.01	0.79
Gain	1.36	1.43	1.48	1.54	0.025	<0.01	0.79
Observed to expected daily dry matter intake ²	0.99	0.95	0.92	0.89	0.014	<0.01	0.79
Estimated NE value of JCO, Mcal/kg ³							
Maintenance		6.20	5.70	5.53			
Gain		5.03	4.59	4.44			
Relative fat feeding value to NRC (2007)		0.98	0.90	0.88			

¹The initial BW was reduced by 4% to adjust for the gastrointestinal fill, and all lambs were fasted (food but not drinking water was withdrawing) for 18 h before recording the final BW.

²Expected DMI was computed as follows: $DMI, \text{ kg/d} = (EM/NE_m) + (EG/NE_g)$, where EM=maintenance coefficient of $0.056 \text{ Mcal/LW}^{0.75}$ (NRC, 1985) and EG is the daily energy deposited (Mcal/d) estimated by equation: $EG = 0.276 \times ADG \times SBW^{0.75}$; NRC, 1985. The divisor NE_m and NE_g are the NE of each diet (calculated from tables of composition of feed; NRC, 2007).

³The comparative NE_m values for the JCO was estimated as follows: $JCO \text{ } NE_m, \text{ Mcal/kg} = [(Test \text{ Diet } NE_m - Control \text{ diet } NE_m)/JCOy] + 2.20$, where JCO_y represent the proportion of JCO that replaced DR corn in the basal diet (0.02, 0.04, or 0.06), and 2.20 represent the NE_m of corn replaced by JCO. Dietary NE_g was derived from NE_m by the equation $NE_g = 0.877 \text{ } NE_m - 0.41$ (Zinn et al., 2008).

Table 4. Treatment effects on blood profiles in finishing lambs

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level (%)				SEM	Contrast P^a value		
	0	2	4	6		L	Q	Reference ¹
Hemoglobin, g/dL	11.34	11.88	12.02	11.10	0.42	0.84	0.07	9.0-15.0
Hematocrit, %	38.40	39.60	41.20	37.40	1.52	0.84	0.12	27-40
Glucose, mg/dL	95.80	76.40	82.00	86.60	7.21	0.51	0.12	50-90
Creatinine, mg/dL	1.41	1.47	1.57	1.25	0.14	0.52	0.18	1.0 -1.80
Urea, mg/dL	19.60	22.20	19.00	22.00	2.13	0.68	0.92	15-50

¹Blood et al. (1983).

CUADRO COMPLEMENTARIO

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos sobre las características de la canal, la composición tisular de la paleta y la concentración de C18:0 y CLA en músculo *longissimus*.

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level (%)				SEM ^b	<i>P</i> ^a value	
	0	2	4	6		L	Q
<i>Longissimus</i> muscle							
Stearic acid (%)	14.67	13.81	14.09	14.11	0.58	0.59	0.47
CLA(%)	5.81	5.78	6.10	8.61	0.44	<0.01	0.02
CLA-to-C18:0 ratio	0.394	0.429	0.432	0.602	0.058	0.03	0.27

^a*P* = observed significance level for linear, quadratic and cubic effect of supplementation level of JSC. Since cubic effects were not significant (*P*>0.10) the *P*-values for those components are not presented in the tables

^b SEM, standard error of mean.

La composición de los ácidos grasos de JCO y CLA en el músculo LM se muestrearon y determinaron usando las técnicas y métodos descritos por Lorezen et al. (2007) y por Sosa-Segura et al. (2014).

