

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN
Y DESARROLLO, A.C.**

**VALOR ALIMENTICIO DE HARINA Y ACEITE DE
SEMILLA DE *Jatropha curcas* EN RESPUESTA
PRODUCTIVA Y PRODUCTO FINAL DE OVINOS EN
ENGORDA**

Por:

José Adrián Félix Bernal

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN CULIACÁN DEL CIAD EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA
PRODUCTOS AGRÍCOLAS DE ZONAS TROPICALES Y SUBTROPICALES

Como requisito parcial para obtener el grado de

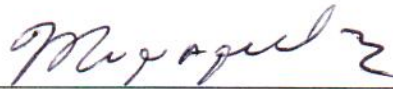
DOCTOR EN CIENCIAS

Culiacán, Sinaloa

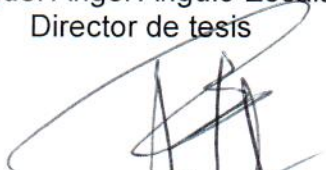
Agosto de 2016

APROBACIÓN


Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de José Adrián Félix Bernal, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias.



Dr. Miguel Ángel Ángulo Escalante
Director de tesis




Dr. Alfredo Estrada Ángulo
Co-director



Dra. María Dolores Muy Rangel
Asesor



Dr. José Basilio Heredia
Asesor



Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé crédito correspondiente.

Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a CONACYT por el valioso apoyo económico otorgado durante el posgrado, el cual permitió salvar algunos obstáculos y alcanzar los objetivos planteados.

Agradezco a CIAD, particularmente a la unidad Culiacán, por la distinción otorgada al aceptarme a formar parte de esta institución y apoyarme para el desarrollo y culminación de mi posgrado.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Sinaloa por el soporte otorgado para enriquecer mi formación profesional en pro del conocimiento y la enseñanza.

A cada uno de los miembros del comité por su excelente participación y compartir sus conocimientos los cuales hicieron posible lograr este proyecto.

Particularmente al Dr Miguel Angel Ángulo por aceptarme para formar parte de esta comunidad y del área de Biorecursos, por su paciencia y sobre todo por su confianza.

A la MC Edith Salazar; Por su amistad, compañerismo y colaboración. Gracias por todo su apoyo. También a Eduardo y Pedro Bastidas mi agradecimiento.

A mis compañeros de posgrado, me llevo lo mejor de todos y la distinción de que me hayan compartido sus conocimientos y amistad, les deseo mucho éxito. Y a todas las personas que conocí fue muy placentero compartir este tiempo con ustedes.

A mis padres y hermanos; Infinitamente agradecido por cimentar las bases para construir mi formación.

DEDICATORIA

Este segmento de mi vida lo quiero dedicar especialmente a mí esposa y compañera de vida, Alma Olivia, por su apoyo, comprensión, confianza y por sobrellevar, aun sufriendo, el distanciamiento que implicó este periodo.

Muchas gracias.

También lo dedico a mis hijos: Jesús Adrián, Adriana Gabriela, Mariana Guadalupe y José Ernesto.

Por su fe, apoyo, paciencia y comprensión.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINAS
APROBACIÓN	ii
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL.....	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL	19
REFERENCIAS	24
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	28
Revisión de literatura.....	28
Situación de la producción de proteína para animales rumiantes.....	28
Origen y taxonomía de <i>Jatropha curcas</i>	31
Fruto y semilla de <i>Jatropha curcas</i>	32
Aspecto agroindustrial de <i>Jatropha curcas</i>	33
Composición química e importancia nutrimental de semilla de <i>Jatropha curcas</i>	33
Factores tóxicos y antinutricionales asociados a <i>Jatropha curcas</i>	36
Ésteres de forbol.....	36
Curcina	36
Factores antinutricionales	37
Inhibidores de tripsina.....	38
Fitatos.....	39
Saponinas.....	40
USOS DE HARINA DE <i>J. CURCAS</i> EN ALIMENTACIÓN ANIMAL	41
Respuesta productiva.....	41

USOS DE ACEITES VEGETALES EN ALIMENTACIÓN DE GANADO	49
Lípidos en nutrición de rumiantes.....	50
Biohidrogenación de lípidos	54
Oxidación de lípidos	55
ACEITES VEGETALES EN PRODUCCIÓN ANIMAL.....	57
Respuesta productiva.....	57
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	61
HIPÓTESIS.....	62
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	63
OBJETIVOS.....	65
Objetivo general	65
Objetivos específicos.....	65
JUSTIFICACIÓN.....	67
REFERENCIAS	68
CAPÍTULO III: FEEDING VALUE OF NONTOXIC <i>Jatropha curcas</i> SEED CAKE FOR PARTIALLY REPLACING DRY-ROLLED CORN AND SOYBEAN MEAL IN LAMBS FED FINISHING DIETS	78
Abstract.....	79
1.0. Introduction	80
2.0. Materials and Methods.....	81
2.1. Diets, animals and experimental design	81
2.2. Sample analysis	83
2.3. Calculations.....	83
2.4. Blood Metabolites	85
2.5. Carcass and visceral mass data.....	85
2.6. Statistical analysis	86
3.0 Results	88
3.1. Chemical composition	88
3.2. Treatments effects on growth performance and estimated energy values of JCS	88

3.3. Treatments effects on blood metabolite profiles	88
3.4. Treatments effects on carcass traits and visceral organ mass	89
4.0 Discussions.....	90
4.1. Physical and chemical characteristics of <i>Jatropha</i> seed cake and corn and soybean meal	90
4.2. Dry matter intake, growth performance, and dietary energetics	90
4.3. Blood metabolites profile	93
4.4. Carcass traits and visceral organ mass.....	94
Conclusions	96
References.....	105
CAPITULO IV: FEEDING VALUE OF SUPPLEMENTAL <i>Jatropha curcas</i> CRUDE OIL IN FINISHING DIETS FOR FEEDLOT LAMBS	
Abstract.....	112
1.0 Introduction	113
2.0 Material and methods	115
2.1. Diets, animals and experimental design	115
2.2 Sample analysis	116
2.3. Calculations.....	117
2.4 Blood metabolites.....	118
2.5 Carcass and visceral mass data.....	118
2.6 Statistical analysis	119
Results	120
Discussion	122
References.....	135
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES	
Harina de semilla de <i>Jatropha curcas</i> y su efecto en alimentación en ovinos	142
Valor alimenticio de aceite de <i>Jatropha</i> como suplemento energético en alimentación de ovinos en finalización	143
Alcance científico y tecnológico.....	144

ÍNDICE DE CUADROS

Table 1. Ingredients and composition of experimental diets fed to lambs	97
Table 2. Treatment effects on growth performance and dietary energy in drylot lambs fed different levels of <i>Jatropha curcas</i> seed cake.....	99
Table 3. Treatment effects on blood profiles in finishing lambs	101
Table 4. Treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of shoulder muscle.....	102
Table 5. Treatment effects on visceral organ weight.....	104
Table 6. Composition of diets.....	127
Table 7. Composition of supplemental <i>Jatropha</i> crude oil	129
Table 8. Treatment effects on growth performance and dietary energy in drylot lambs fed different levels.	130
Table 9. Treatment effects on blood profiles in finishing lambs.	132
Table 10. Treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of shoulder muscle of <i>Jatropha curcas</i> crude oil.....	133
Table 11. Treatment effects on visceral organ weight of <i>Jatropha curcas</i> crude oil.	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de tesis	23
Figura 2. Determinación de esteres de forbol por HPLC.	145
Figura 3. Determinación de inhibidores de tripsina en harina de semilla de <i>Jatropha curcas</i> tratada con calor seco	146

RESUMEN

La creciente necesidad de alimentos, debido a la explosión demográfica y al fenómeno de migración a áreas urbanas, apremia a los sectores involucrados a incrementar la producción, la búsqueda y desarrollo de nuevas fuentes de alimento, sin incurrir en la competencia de estos entre animales y humanos. En este quehacer, la industria pecuaria productora de carne ha utilizado subproductos industriales como harina de soya, canola, algodón y subproductos de la industria bioenergética conocidos como granos secos de destilería (DDGS), además grasas de origen animal y aceites de la industria restaurantera, como aporte de proteína y energía en dietas para animales; algunos como soya son importados debido a déficit nacional.

Por otro lado, la reducción de combustibles fósiles y el efecto térmico global hace necesario la transición a energías más limpias y sustentables, situación que origina el surgimiento de *J. curcas* como cultivo productor de aceite para elaboración de biocombustible. El proceso de extracción de aceite a partir de semilla con testa genera aproximadamente 70% de coproducto proteico sólido con 280 g kg⁻¹, 47.25 y 40.25% de proteína, fibra neutro y ácido detergente, respectivamente, con factibilidad de uso en alimentación animal y generación de valor agregado al proceso agroindustrial de *Jatropha*. Sin embargo, la presencia de compuestos tóxicos (ésteres de forbol) y factores antinutricionales en el residuo limitan su uso como alimento. Condición que dio lugar al empleo de métodos físicos, químicos y biológicos para su detoxificación, con resultados actualmente inconsistentes y a costos considerablemente elevados. En ese sentido, es documentada la existencia endémica de variedades mexicanas de *J. curcas* no tóxicas en Yucatán, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero, Puebla, Morelos, Nayarit, Jalisco, Michoacán y Sinaloa, con contenido marginal o no detectado de ésteres de forbol y factores antinutricionales en concentración similar

a variedades tóxica pero fáciles de remover con tratamiento térmico, proceso que favorece el uso de proteína de harina de *Jatropha curcas* no tóxica (HJCS) como alimento. No obstante que el cultivo de *J. curcas* este orientado a la producción de biocombustible, el aceite de *J. curcas* (JAO) de variedades no tóxicas posee potencial como aceite comestible, debido a que presenta un balance de ácidos grasos insaturados/saturados menor al de aceite de canola y girasol (3.5 vs 8.8 y 15.1) respectivamente. Lo cual le confiere ventaja para usarse en forma cruda como fuente energética en dietas para rumiantes, animales que contienen bacterias en rumen susceptibles a la acción tóxica de niveles elevados de ácidos grasos poliinsaturados presentes en aceites comestibles como los de canola, girasol, soya y linaza entre otros. El empleo de estos aceites es poco frecuente en rumiantes debido a su alto costo y se utilizan principalmente para transferir ácidos grasos insaturados al tejido comestible y en menor medida como aporte de energía. Por su parte, el aceite de *J. curcas* no es orientado a consumo humano y en pocos países es procesado para elaboración de biodiesel. Condiciones interesantes para evaluar su valor alimenticio en dietas para rumiantes.

Por lo antes referido, el objetivo de esta investigación fue evaluar en prueba de alimentación el valor alimenticio de HJCS en sustitución del aporte proteico de harina de soya y maíz, utilizando 32 ovinos que consumieron dietas con diferentes niveles de inclusión de HJCS (0, 7, 14 y 21%). Asimismo, en segundo experimento JAO no tóxica como ingrediente energético usando 20 ovinos alimentados con dietas suplementadas con diferentes niveles de JAO (0, 2, 4 y 6%). Ambos experimentos bajo un diseño aleatorizado de bloques completos y tomando como criterio de bloqueo el peso inicial para evaluar el efecto de esas dietas sobre: Respuesta productiva, características de canal, parámetros hematológicos y energía dietaria de ovinos en finalización.

Cuando la HJCS reemplazó parcialmente harina de soya y maíz, los tratamientos impactaron negativamente en respuesta productiva (ganancia de peso, eficiencia alimenticia y energía dietaria) e igualmente en características de canal (canal caliente y grasa dorsal, pero fue positivo en aumentar el área de músculo largo

dorsal y del hombro). Los parámetros hematológicos no indicaron desordenes clínicos en los animales.

El efecto global de sustitución harina de soya y maíz con HJCS indica que el nivel de reemplazo mas adecuado fue 14% y puede emplearse sin riesgo para la salud en rumiantes.

El efecto de dietas suplementadas con JAO sobre el perfil hematológico no causó cambios en el rango establecido para ovinos sanos. En respuesta productiva impactó positivamente en eficiencia alimenticia y presentó tendencia a aumentar el consumo de alimento. No obstante, el valor de energía neta estimado según el alimento consumido en cada nivel de suplementación indica que en nivel de 4% de suplementación coincide con el valor promedio estimado para JAO según su composición química y cantidades por encima de este disminuye su valor alimenticio en dietas para ovinos. En características de canal causó un incremento lineal de tejido adiposo y disminución de músculo del hombro, sin afectar el resto de variables.

Los resultados indican que la harina y aceite de *J. curcas* de variedades no tóxicas pueden emplearse en forma segura, sin riesgo clínico en rumiantes. Pero la adición de HJCS en nivel superior a 140 g kg^{-1} de materia seca en dietas integrales compromete su valor nutricional y en JAO el nivel de suplementación recomendable es igual o menor a 4%.

Con base en lo expuesto es posible inferir que HJCS es una fuente alterna de proteína para reemplazar a harina de soya en alimentación de rumiantes y generar valor agregado al proceso agroindustrial de *J. curcas*. Similarmente el JAO puede emplearse alternativamente a la producción de biocombustible como suplemento energético en dietas para rumiantes, con la misma finalidad que se utiliza grasa animal, aceites reciclados de industria restaurantera y aceites comestibles.

ABSTRACT

The growing need of food because of the population explosion and the migration phenomenon to urban areas pushes to the involved sectors to increase the production, search and development of new sources of food without incurring competition of these between animals and humans. In this task, the livestock industry meat production have used industrial subproducts like soy flour, canola, cotton and subproducts of the bioenergetics industry known like DDGS, besides of animal fats and oils restaurant industry as input protein and energy in animal diets; some as soy are imported because national supply deficits.

On the other side the fossil fuels reduction and the global thermic effect make necessary the transition to more clean and sustentable energy, therefore the rise of *J. curcas* as an oil producer crop for processing biofuels The extraction process of oil starting from seed with husk generates approximately 70% of solid proteic coproduct with 280 g kg⁻¹, 47.25 y 40.25% of protein, neutral and acid detergent fiber respectively, with feasibility of use in animal feeding and generation of value added agro-industrial process *Jatropha*.

Nevertheless the presence of toxic compounds (phorbol esters) and antinutritional factors in the residue limit the use as an aliment. This gives rise to the use of physical, chemical and biological methods for this detoxification, with actually inconsistent results and considerably high cost. In this sense, the endemic existence of Mexican *J. curcas* non toxic varieties are found in Yucatán, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero, Puebla, Morelos, Nayarit, Jalisco, Michoacán and Sinaloa. These varieties usually showed or non-detected content of phorbol esters, and antinutritional factors in similar concentration as toxic varieties but easy to remove with thermic treatment, condition that stimulate the use of protein byproducts as feed.

However the cultivation of *J. curcas* is oriented to the production of biofuel, the oil of *J. curcas* of non toxic varieties has potential as edible oil, as it shows an unsaturated/saturated fatty acid balance, as compared to canola and sunflower oil (3.5 vs. 8.8 and 15.1), respectively. This gives an advantage to use in its crude form as energetic way in ruminants diets, animals that have bacterium's in rumen susceptible at the toxic action of polyunsaturated fatty acid high levels presents in rape, sunflower, soybean, and flaxseed edible oils. The use of this oil is quite frequent in ruminants and it uses principally to provide unsaturated fatty acids to the edible tissue, and in lesser extent to provide energy for it high prize. The *J. curcas* oil is not oriented for human consume and in few countries is processed to make biodiesel.

By the before reference, the objective of this investigation was evaluate the nutritional value of HJCS and JAO in the productive response and ultimate products of lambs fed finishing diets. In the first experiment it was use HJCS in substitution of protein of soymeal and dry-rolled corn, in diferent inclusion levels diets of HJCS (0, 7, 14 y 21%) in feeding sheep (32) on finishing. Likewise, in second experiment, JAO non toxic as energetic ingredient in suplmented diets with diferent levels of JAO (0, 2, 4 y 6%) to feed sheep (20) on finishing. Both experiments under a randomized design of complet blocks, using the initial weight of sheep blocking criterion and determine the effect of these diets on: Productive response, channel characteristics, hematological parameters and dietary energy of sheep on fisnishing.

When HJCS partially replaced soy flour and corn, the treatments impact negatively in productive response (weight win, feed efficiency and dietary energy), and in the characteristics of carcass (hot carcass and dorsal fat, but was positive in increase the area of large dorsal and shoulder muscle). The hematological parameters did not indicate clinic disorders in the animals.

The global effect of soy flour and corn situation with HJCS indicates that the more appropriate replace level was 14%, and coul be used without risk for the ruminant's health. The supplemented diets effect with JAO over the hematological profile did

not cause changes in the established range for healthy sheep. In productive response it impacted positively in feed efficiency and it showed trend to increase consumption. However, the value of net energy as feed consumed in each replacement level showed that the 4% treatment matched with the estimated average value for JAO, according to its chemical composition and quantities, and above it decreases its nutritional value. In the characteristics of carcass it caused a linear increase of adipose tissue and diminution of shoulder muscle, without affect the remainder of variables.

The results indicated that the flour and oil non-toxic *J. curcas* varieties could be used safely without clinical risk in ruminants. However, beyond 140 g kg⁻¹ of HJCS of dry matter in complete diets compromises their nutritional value and in the case of JAO supplementation recommended level it's equal or less than 4%.

Based on the above we can infer that HJCS is an alternative protein source to replace soybean meal in feed for ruminants and can generate added value to the agro industrial process *J. curcas*. Similarly the JAO may alternatively be employed for the production of biofuels as an energy supplement in diets for ruminants, with the same purpose as animal fat is used, and recycled restaurant industry edible oils.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL

El crecimiento demográfico y el fenómeno social de migración rural al área urbana en el mundo y en países en desarrollo han acrecentado la demanda de alimentos, entre otros, el consumo de carne y leche. En ese sentido, la industria pecuaria produce proteína animal en un constante esfuerzo para obtener la máxima eficiencia en producción. Para ese propósito utiliza subproductos industriales que aportan proteína y energía a las dietas como harina de soya, canola, algodón y subproductos industriales de la producción de etanol conocidos como DDGS todos estos importados (SIAP, 2014). Asimismo, utiliza grasas de origen animal y aceites de la industria restaurantera como aporte energético a las raciones del ganado (Zinn y Plascencia, 2007). Lo antes referido refleja un déficit de estos insumos en la industria pecuaria nacional y genera la búsqueda de recursos naturales de fuentes alternas de proteína y energía factibles de incorporarse a la alimentación animal.

Por otro lado, la recomendación mundial apremia a la búsqueda de recursos naturales para ampliar los alimentos para animales sin incurrir en la competencia de estos entre animales y humanos (FAO, 2104).

De igual forma se postula que por razones ambientales, sociales y económicas es necesaria una transición energética en los modelos de producción y utilización de energía, hacia sistemas más equitativos, geográficamente mejor distribuidos y menos contaminantes (Masera et al., 2001).

Este desarrollo tecnológico global involucra el cultivo de plantas oleaginosas como *J. curcas* de la cual se prevé la siembra de 32'720,000 ha alrededor del mundo para 2017, estimando una producción de 160 millones de toneladas de

semilla, 15 a 21 millones de litros de aceite para producción de biocombustible y entre 11 a 17 millones de toneladas de coproducto como pasta rica en proteína con posible aplicación en alimentación animal (Devappa et al., 2010). Sin embargo, la presencia de compuestos tóxicos (ésteres de forbol) y factores antinutricionales (inhibidores de tripsina, lectinas, saponinas y fitatos) en el coproducto imposibilita transferir valor a la cadena agroindustrial de *J. curcas* cuando esta proviene de variedades tóxicas (Makkar et al., 1998).

Cuando el producto proteico proviene del prensado de almendra de semilla de *J. curcas* presenta 55-60% de proteína con un contenido de aminoácidos esenciales adecuado para niños en edad escolar (FAO/WHO, 1990) con excepción de 46% de lisina (Martínez-Herrera et al., 2006). La pasta una vez desgrasada contiene 1.0% de lípidos, 9.8% de cenizas, 9.1% de fibra neutro detergente, 5.7% de fibra ácido detergente y 4.5 Mcal de EDkg⁻¹. Tales características alentaron a probar el uso de pasta detoxificada como alimento en peces (Kummar et al., 2010), cerdos (Li et al., 2015) y ovinos (Abo El Fadel et al., 2011; Megumi et al., 2013).

Cuando se prensa semilla completa presenta menor contenido de proteína 21%-26% (Souza et al., 2009) y mayor nivel de fibra neutro y ácido detergente 47.25 y 40.25%, respectivamente (Felix et al., 2014). Condición no adecuada para alimentar aves y monogástricos, pero de poca importancia en rumiantes debido a su capacidad de digerir eficientemente (50-90%) la fibra bruta de los alimentos (Crampton y Harris, 1979).

El propósito de emplear el coproducto proteico en alimentación animal ha conducido a diversos estudios para conocer su toxicidad en animales (Adam y Magzoub, 1975; Ahmed y Adam. 1979; Aregheore et al., 2003; Belewu et al., 2008; Cain-Yan et al., 2010.) y al empleo de diferentes métodos de detoxificación (Aregheore et al., 2003; Saetae et al., 2012; Megumi et al., 2013) para reducir o eliminar el nivel de compuestos tóxicos. Sin embargo, los resultados reportados han sido inconsistentes (Martínez-Herrera et al., 2006).

En ese orden esta documentado la existencia de variedades mexicanas de *J. curcas* no tóxica con cantidad marginal ésteres de forbol o no detectados y a la presencia de factores antinutricionales (inhibidores de proteasas, lectinas, fitatos etc..) similar al de variedades tóxicas (Makkar et al., 1999), estos últimos fácilmente removidos por tratamiento térmico (Martínez–Herrera et al., 2006). Condición favorable para usarse como alimento en rumiantes.

Aún cuando *J. curcas* es una planta nativa de México con potencial de crecimiento en zonas tropicales y subtropicales las superficies comerciales registradas son recientes y representan solo el 1.4% del potencial existente (SENER, 2012).

Además de los atributos identificados en harina de *J. curcas* no tóxica, su aceite no contiene cantidades detectables de ésteres de forbol (Gil, 2013). Presenta una relación de ácidos grasos insaturados: saturados de 80:20 aproximadamente, con proporción de ácido linoleico y oleico comparable al aceite de cártamo (Sosa et al., 2014); Sin embargo, no es considerado apto para consumo humano (Makkar et al., 2011). Estas características generan interés para evaluar su uso como suplemento energético en dietas para rumiantes donde la grasa animal y aceites de desecho de la industria restaurantera son comúnmente empleados como fuente de energía, entre otros usos (Zinn y Plascencia, 2007). Un efecto observado en relación al uso de aceites vegetales en rumiantes es la disminución en la producción de metano, condición que resulta favorable al ambiente y a la explotación de rumiantes (Dihigo et al., 2012; Hristov et al., 2013).

Basado en la información referida es pertinente señalar que la ausencia ó cantidades marginales de ésteres de forbol ($0.018 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ o no detectado en semilla de *J. curcas* no tóxica de México, la eficaz inactivación de inhibidores de proteasas (Martínez-Herrera et al., 2006), así como el contenido y composición de ácidos grasos de su aceite, genera la expectativa de fundamentar el valor alimenticio de HJCS y aceite de *J. curcas* no tóxica en la alimentación de rumiantes y su impacto en la respuesta productiva y producto final utilizando

ovinos como modelo animal dado el bajo volumen de alimento requerido y facilidad de manejo. El propósito de este trabajo fue generar evidencia científica sobre el uso de harina de semilla de *J. curcas* no tóxica como alternativa proteica en alimentación de rumiantes en el país y contribuir a ampliar las fuentes de proteína disponibles a la industria pecuaria. Igualmente demostrar que el aceite de esta semilla puede emplearse en forma cruda como fuente de energía en dietas para rumiantes con resultado similar al uso de grasa animal y aceites comestibles.

Capítulo I	Introducción general
Capítulo II	Planteamiento del problema
Capítulo III	Fase experimental 1 Valor alimenticio de harina de <i>Jatropha curcas</i>
Capítulo IV	Fase experimental 2 Valor alimenticio de aceite de semilla de <i>Jatropha curcas</i>
Capítulo V	Conclusiones generales

Figura 1. Estructura de tesis

REFERENCIAS

Abo El-Fadel, M.H., Hussein, A.M. and Mohamed, A.H., 2011. Incorporation *Jatropha curcas* meal on lambs ration and it's effect on lambs performance. *Journal of American Science*. 7, 129-132.

Adam, S.E. and Magzoub, M., 1975. Toxicity of *Jatropha curcas* fo goats. *Toxicology*. 4, 388-389.

Ahmed, O.M. and Adam, S.E., 1979. Effects of *Jatropha curcas* on Calves. *Veterinary Pathology*. 4, 476-482.

Aregheore, E.M., Becker, K., Makkar, H.P.S., 2003. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. *South Pacific Journal Natural Science*. 1, 50-56.

Belewu, M.A., Belewu, K.Y., Ogunsola, F.O., 2008. Nutritive value of dietary fungy treated *Jatropha curcas* kernel cake: Voluntary intake, growth and digestibility coefficient of goat. *America Journal of North*. 1,135-138.

Caín-Yan, I., Devappa, K.R., Liu, J.X., Lv, J.M., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2010. Toxicity of *Jatropha curcas* phorbol esters in mice. *Food and Chemical Toxicology*. 48, 620-625.

Crampton, E.W and Harris, L.E., 1979. *Nutrición animal aplicada*. Segunda edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 756 p.

Devappa, R.K., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2010. *Jatropha* Toxicity. A Review *Journal of Toxicology and Enviromental Health*. 13, 476-507.

Dihigo, L.E., González, R., Galindo, J., Almeida, M., Cairo, J., Delgado, D.C., 2012. Efecto del aceite de coco en el consumo, digestión de nutrientes y

producción de metano en ovinos alimentados con forraje y concentrado. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 4, 381-384.

F.A.O., 2014. División de Producción y Sanidad Animal. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>.

FAO/WHO., 1990. Protein quality evaluation. In report of a joint FAO/WHO expert consultation (p. 23). Rome Italy.

Félix-Bernal, J.A., Angulo-Escalante, M.A., Estrada-Angulo, A., Heredia, J.B., Muy-Rangel, D., López-Soto, M.A., Barreras, A., Plascencia, A., 2014. Feeding value of nontoxic *Jatropha curcas* seed cake for partially replacing dry-rolled corn and soybean meal in lambs fed finishing diets. Animal Feed Science and Technology. 198, 107-116.

Gil, M.R., 2013. Efecto de la inclusión de Aceite de *Jatropha curcas* no tóxica en el alimento para Codorniz Japonesa (*Coturnix coturnix japónica*) en Engorda. Tesis de maestría.

Hristov, N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B., Tricarico, J.M., 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. Journal of Animal Science. 91, 5045-5069.

Kumar, H., Makkar, H., Becker, K., 2010. Dietary inclusion of detoxified *Jatropha curcas* kernel meal; effect on growth performance and metabolic efficiency in common carpa *Cyprinus carpio*. Fish Physiology Biochemistry. 36, 1159-1170.

Li, Y., Chen, I., Fang, Z.F., Che, L.Q., Xu, S.Y., Wu, D., 2015. Effects of replacing soybean meal with detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in the diet

on growth performance and histopathological parameters of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 204, 18-27.

Makkar, H.P.S., Aderibigbe, A.O., Becker, K., 1998. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food Chemistry*. 62, 207–215.

Makkar, H.P.S., Becker, K., 1999. Nutritional Studies on rats and fish (carp, *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenance. *Plant Foods Human Nut.* 53, 183-192.

Makkar, H.P.S., Kumar, V., Oyeleye, O.O., Akinleye, A.O., Angulo-Escalante, M.A., Becker, K., 2011. *Jatropha platyphylla*, a new non-toxic *Jatropha* species: Physical properties and chemical constituents including toxic and ant nutritional factors of seeds. *Food Chemistry*. 125 (1): 63-71.

Martínez-Herrera, J., Sddhuraju, P., Francis, G., Dávila-Ortiz, G., Becker, K., 2006. Chemical composition, Toxic/antimetabolic constituents and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. Form Mexico. *Food Chemistry*. 96, 80-89.

Masera, O.R., Ceron, A.D., Ordóñez, J. A., 2001. Forestry Mitigation Options for México: Finding Synergies Between National Sustainable Development Priorities and Global Concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change*. 6, 289-310.

Megumi, M.C., Rodrigues, J.M., Silva, L.P., Soares, J., Cuquetto, H., Texeira, M., 2013. Bio-Detoxification of *Jatropha* Seed Cake and Its Use in Animal Feed. in: Fang, Z. (Ed.), *Biodiesel-Feedstock's, Productions and Applications*. InTech publisher. pp. 309-330.

NRC., 2007. Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press, Washington, DC.

Saetae, D., Suntornsuk, W., 2010. Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. Int.Journal. Molecular. Science. 12, 66-77

SAGARPA., 2013. Sagarpa.gob.mx/ganadería/Estadísticas.

SENER., 2012. Energías renovables para el desarrollo sustentable en México. Consultado el 20 de marzo de 2012

SIAP, 2014. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, siap.gob.mx/ganaderia-producción.

Sosa-Segura, M.P., Oomah, B.D., Drover, J.C.G., Heredia, J.B., Osuna-Enciso, T., Valdéz-Torres J.B., Salazar-Villa E., Soto-Landeros F., Angulo-Escalante M.A., 2014. Physical and Chemical Characterization of Three Non-Toxic Oilseeds from the *Jatropha* Genus. Journal of Food and Nutrition Research. 2, 56-61.

Souza, A.D.V., Fávaro, S.P., Ítavo, L.C.V., Roscoe, R., 2009. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 44,1328–1335.

Zinn, R.A and Plascencia A., 2007. Feed Value of supplemental fats used in Feedlot cattle diets. Veterinary Clinic Food Animal. 23, 247-268.

Zinn, R.A., Gulati, S.K., Plascencia, A., and Salinas, J., 2000. Influence of ruminal bio hydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. Journal of Animal Science. 78, 1738-1746.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Revisión de literatura

Situación de la producción de proteína para animales rumiantes

El crecimiento demográfico cada vez mayor prevé que para el año 2025 rebase las 8500 millones de personas y se produzca un aumento en el consumo de carne y leche, condición favorecida por un aumento en los ingresos y la necesidad de nutrientes para el humano. Por ello, es cada vez mas importante identificar nuevos recursos naturales asi como maximizar el uso de recursos alimentarios existentes en cada región y enfocarlos al desarrollo del sector pecuario a través de sistemas eficaces y sostenibles de producción, sin dejar de lado el evitar o disminuir la competencia entre alimentos para humanos y animales (FAO, 2014).

A nivel mundial la producción de carne proveniente de rumiantes se ubica en 68 millones de toneladas a partir de bovinos y 14 millones de toneladas provenientes de ovinos, en promedio el consumo de carne global es de 42.9 kg per cápita anual, con rangos de 76.1 kg de consumo en países desarrollados y 33.7 kg en países en desarrollo (FAO, 2014). Consumo superior a 15.4 kg per cápita anual reportado para Mexico. La importancia de la carne como alimento deriva de su contenido en todos los aminoácidos esenciales, además de ser rica en minerales y vitaminas con alta biodisponibilidad.

El consumo reportado en México no es suficiente para suministrar 20 g de proteína animal *per cápita* al día correspondiente a la cantidad recomendada para combatir la malnutrición o subnutrición en la población (SAGARPA, 2015)

El principal productor de carne de rumiante en el mundo es Estados Unidos con una aportación del 18.3% de total producido. México, en 2014 se ubicó en 6to lugar con aportación global de 2.8%, producción compuesta por 1'827,152, 58,288 y 39,758 t para bovinos, ovinos y caprinos respectivamente, lo cual representa 40.86% del valor total de la producción de carne en canal. Los principales estados productores de carne son Veracruz con 13.4% Jalisco 11.9% y Sinaloa con 6.2% (AMEG, 2015).

El principal insumo para producción intensiva de carne en estabulación basada en dietas altas en grano, son rumiantes jóvenes producidos en su mayor parte por pequeños y medianos productores de becerros para engorda, localizados en los estados de Veracruz, Chiapas y Tabasco. Otro aspecto en la producción pecuaria es el mercado de exportación de bovinos hacia Estados Unidos, lo cual se caracteriza por la comercialización de ganado joven a partir de 130 kg de peso hasta 300 kg, aproximadamente (SAGARPA, 2015).

Tales condiciones presentan en común la venta de ganado en plena etapa de crecimiento donde el aporte proteico desempeña un rol estratégico para lograr su crecimiento. La mayor parte de ganado es producido por pequeños y medianos productores en los estados de Veracruz, Chiapas y Tabasco. Según Ruiz et al. (1999) y Zamarripa et al. (2008), estos estados cuentan con características climatológicas adecuadas para producción de *J. curcas* y su semilla puede desempeñar un papel importante como insumo alimenticio en crianza y desarrollo de rumiantes productores de carne.

En la industria pecuaria productora de carne se utilizan subproductos industriales en las dietas para proveer proteína y energía, entre estos insumos se encuentran pastas proteicas de semillas oleaginosas como harina de soya, canola, algodón y subproductos de la industria bioenergética conocidos como

destilados solubles de granos de destilería (DDGS) (SIAP, 2014), además de grasas de origen animal y aceites de la industria restaurantera con el propósito de suplementar energía a las raciones (Zinn y Plascencia, 2007).

De los subproductos proteicos utilizados destaca la harina de soya por su mayor digestibilidad. Sin embargo, la producción nacional de esta oleaginosa es insuficiente y solo cubre 6% de la demanda. La diferencia es importada para cubrir este déficit.

Según AMEG, (2015) se introducen también harina de canola (1.2 millones de toneladas), algodón (274 mil toneladas). Mientras COMEXPALMA con información de Oil World Annual 2014 registró el ingreso de 190, 320 y 490 mil toneladas de aceite de soya, sebo y aceite de palma respectivamente. Lo anterior refleja un déficit nacional de estos insumos e induce a la búsqueda y evaluación de fuentes alternas de proteína y energía para incorporarse a la producción de proteína animal. En ese sentido, la extracción de aceite de semilla de *J. curcas* para producción de biocombustibles genera un residuo proteico con características nutrimentales promisorias como alimento para ganado.

En el mismo sentido, actualmente en México, la producción de aceite de *J. curcas* no tóxica, no es considerada rentable, según proyecciones presentadas en simposio sobre resultados y conclusiones del proyecto de *J. curcas* no tóxica (Codesin, 2013). Por otro lado Sosa et al., (2014) y Gil, (2013) reportaron que las características fisicoquímicas del aceite de *J. curcas* son comparables al aceite de soya. Estos reportes perfilan la posibilidad adicional de usar el aceite crudo de semilla de *J. curcas* como suplemento energético en raciones para rumiantes y agregar valor a la producción de aceite de *J. curcas* no tóxica en México, si consideramos que el precio de grasa animal y aceite de la industria restaurantera se ubica en \$10 – \$12.50 por kg (ANIAME, 2015). Precio superior al proyectado para el litro de aceite con fines bioenergéticos.

Origen y taxonomía de *Jatropha curcas*

Es una planta perteneciente al orden Euphorbiales, familia Euphorbiaceae, género *Jatropha*, especie *curcas* y clasificada por Carlos Linneo en 1753 como *J. curcas* L. El género engloba más de 170 especies de las cuales más de 40 se encuentran en México: *J. curcas* actualmente crece en la mayoría de los trópicos (Makkar et al., 1998). En México, se conoce como piñón, piñoncillo, sangregado y como tempate en Centroamérica.

Carlos Linneo (1753) fue el primero en nombrar piñón a *J. curcas* L. El nombre de *Jatropha* deriva de las palabras griegas *jatrós* que significa (médico) y *trophé* (alimentos), lo que implica usos medicinales. En países tropicales se conoce por sus propiedades medicinales y el aceite en su semilla, además se usa como cerca viva en jardines y campos (Makkar et al., 1997).

Es un arbusto ó árbol pequeño caducifolio de tres a ocho metros de altura, que crece rápidamente con base en una raíz central y cuatro periféricas, sobrevive en suelos degradados y se considera resistente a la sequía pero prefiere suelos livianos y bien drenados, con elevaciones inferiores a los 1200 msnm, precipitación pluvial de 300-1800 mm y temperaturas en rangos de 18-34°C (Genética forestal, 2010). Si bien *J. curcas* puede crecer en tierras poco fértiles se debe considerar que las condiciones de crecimiento no implican producción aceptable de frutos.

Esta planta se puede propagar por estacas o siembra directa y en climas permanentemente húmedos la floración ocurre a lo largo del año (Heller, 1996). En la estación calurosa ocurre una floración terminal en forma individual y cada inflorescencia rinde 10 o mas frutos ovoides que contienen 3 cocos bivalvos negros, ocasionalmente las inflorescencias son hermafroditas y con buena

precipitación pluvial las plantas sembradas producen frutos al segundo año después de la temporada de lluvias.

Fruto y semilla de *Jatropha curcas*

El fruto de *Jatropha* posee en su interior tres semillas negras que maduran entre 3-4 meses después de la floración, pesan alrededor de 64 ± 10 g. La semilla presenta una relación 43:57 de testa/endospermo, el contenido de proteína cruda de la almendra es $26.0\% \pm 3.2\%$, lípidos $53.0 \pm 4.8\%$, cenizas $4,2\% \pm 0.52\%$ y fibra neutro detergente $5.0\% \pm 0.87\%$. Estos parámetros presentan amplia variación independientemente se trate de almendra o semilla completa, probablemente por influencia de la nutrición en la planta (Makkar et al., 1997, 2008).

Además del aceite contenido en el germen, las semillas de *Jatropha* proveen de pasta alta en proteína que puede emplearse en alimentación animal si las toxinas presentes son removidas (Makkar et al., 1998). En general las semillas de diferentes variedades de *J. curcas* son consideradas tóxicas debido a la presencia de ésteres de forbol y curcina, sustancias que al ingerirse producen mareo, vómito diarrea e incluso la muerte (Belewu et al., 2010).

Un estudio comparativo de harina de almendra de *J. curcas* no tóxica (HJCS) muestra 63.8% de proteína -vs- 44% en harina de soya comercial, el contenido de cenizas ligeramente mayor que en soya (10 vs 6.4%) mientras que el contenido en fibra neutro detergente (NDF) y ácido detergente (ADF) fueron <10 y <7.0% respecto a 17.2 y 12.2% observado en soya, perfil de nutrientes similar o mayor que el contenido en harina de soya (Makkar et al., 1997).

Aspecto agroindustrial de *Jatropha curcas*

La densidad recomendada para plantación de *J. curcas* es de 2000-2500 plantas por hectárea de las cuales se espera después de 18 meses, 2 cosechas con un promedio de 2.5 kg de frutos por planta o 3000 kg de semilla por hectárea, producción que puede aumentar a 4.2 kg de semilla por planta con el uso de fertilizantes, y control de malezas y plagas. Se requieren 3-4 kg de semilla para obtener un litro de aceite y el mayor impacto económico atribuido al uso de aceite es su conversión a biodiesel, proceso del cual resulta 15% de glicerol con valor adicional por su uso farmacéutico e industrial (Genética forestal, 2010).

La planta de *J. curcas* es uno de los cultivos mas promisorios como fuente energética renovable en regiones rurales con características geográficas que permiten su crecimiento sin demasiados inputs (Subroto et al., 2015), ya que no compite por tierras para producción de alimentos ni con la conservación de la naturaleza (Makkar and Becker, 2009; Pinzi et al., 2009). Algunos cultivares en México han generado resultados mas productivos cuando es desarrollado a pequeña escala en su hábitat natural e intercalados con otros cultivos (Martínez et al., 2010).

Estudios realizados en semillas provenientes de los estados mexicanos de Veracruz, Puebla, Quintana Roo y Yucatán muestran contenido de factores antinutricionales, proteína y lípidos similar al de variedades tóxicas (Makkar et al., 1997).

Composición química e importancia nutrimental de semilla de *Jatropha curcas*

La perspectiva para usar los productos de semilla de *J. curcas* en la industria pecuaria imprime valor agregado al obtener simultáneamente proteína y energía a partir de este cultivo (King et al., 2009).

Diversos reportes indican que el peso de la semilla oscila en 45 a 86 g, la testa representa 30-40% y 60-70%; la almendra, el contenido de aceite varía entre 30-37% y 44-62% en semilla completa o almendra, respectivamente. La proteína en germen fluctúa en 480-640 g kg⁻¹ (Makkar et al., 1998; Martínez-Herrera et al., 2006) y 280 g kg⁻¹, cuando se obtiene de semilla completa (Souza et al., 2009).

Las fracciones proteínicas mayoritarias en las semillas de *J. curcas* son principalmente globulinas y glutelinas (201 y 378 g kg⁻¹) seguida de albuminas y prolaminas (64 y 151 g kg⁻¹) (Peralta et al., 2012). Las globulinas constituyen el almacén de proteína de las semillas mientras las albuminas desempeñan un papel fisiológico (Machuca, 2000). Reportes sobre la digestibilidad in vitro de las fracciones proteicas en HJCS desgrasada son consistentes para glutelinas (80.5 y 95%) (Selje et al., 2007; Peralta et al., 2012) y debido a su solubilidad en soluciones alcalinas la digestión en rumen es pobre y se realiza principalmente en intestino delgado. El contenido en lisina y triptófano en las fracciones proteicas aportan solo 45 y 71%, respectivamente del valor recomendado por FAO/WHO para nutrición de infantes.

Los valores de digestibilidad para globulinas y albúminas indican variación de 64 y 61% hasta 80 y 78.1% (Selje et al., 2007; Peralta et al., 2012). Valores que pueden ser afectados por la naturaleza de sus constituyentes, contenido de inhibidores de proteasas (Adebowale et al., 2007) o tratamiento térmico prolongado en la proteína (Martínez-Herrera et al., 2006). La característica de solubilidad en agua y soluciones salinas de estas fracciones favorece su degradabilidad en rumen y son comparables a los valores de digestibilidad reportados para pasta de canola en este compartimiento (Boila y Ingalls, 1992).

La importancia de HJCS radica en su contenido nutrimental, con excepción de 54.3% de triptófano en las fracciones proteínicas, 45% de lisina en gluteínas

y 40% de metionina y cistina en prolaminas; la proteína de harina de germen de *J. curcas* provee la cantidad necesaria de aminoácidos esenciales (Peralta et al., 2012) para considerarse como opción para convertir proteína vegetal en proteína animal.

Factores tóxicos y antinutricionales asociados a *Jatropha curcas*

Ésteres de forbol

Estos compuestos son las principales toxinas en semillas y aceite de *J. curcas* (Makkar et al., 2008) son clasificados como diterpenos y existen seis tipos caracterizados a partir de *J. curcas* (Hass et al., 2008).

Su acción en la célula consiste en un efecto mimético del diacylglycerol como activador de varias isoformas de proteína quinasa C (PKC) lo que afecta la síntesis de proteína, de DNA, procesos de diferenciación celular y expresión génica solo que a diferencia del diacylglycerol la activación de PKC es mas prolongada y permanente (Goel et al., 2007). Por lo que es considerado como promotor de tumores, generador de diarreas e irritaciones de piel entre otras alteraciones fisiológicas. No obstante la toxicidad de semillas de *J. curcas*, existen en México variedades que contienen cantidad marginal o carecen de ésteres de forbol (Makkar et al., 2008).

Las semillas de variedades tóxicas contienen 2.70 a 2.17 mg g⁻¹ de ésteres de forbol y hasta 3.32 mg g⁻¹ en HJCS, mientras en aquellas consideradas no tóxicas contienen 0.11 mg g⁻¹ o no detectados (Makkar et al., 1997).

Curcina

Se clasifica como una lectina y en HJCS se encuentra en nivel de 51-102 mg mL⁻¹ de ensayo como la cantidad mínima inversa que produce hemaglutinación en presencia de 10 mM Mn²⁺ (Makkar et al., 1998). Al igual que los ésteres de

forbol, producen inactivación en la síntesis de proteínas por depurinización de RNAr (King et al., 2009). La curcina se clasifica como inhibidor tipo I mientras los ésteres de forbol como tipo II (Juan et al., 2003; Qin et al., 2005). Los tipo II contienen una cadena catalítica y una lectina de cadena B de unión a carbohidratos, fracción ausente en los tipo I lo que limita su unión y entrada a la célula, necesitando 1000 veces mas concentración para alcanzar el efecto DL_{50} de ésteres de forbol observada ratones (Barbieri et al., 1993).

Estas glicoproteínas resisten la digestión en tracto gastrointestinal y se unen a grupos glicosil en células epiteliales, cuando son consumidas en altas concentraciones afectan el recambio y pérdida de células epiteliales, lo que interfiere con la digestión y absorción de nutrientes (Qin et al., 2005). Sistémicamente, interrumpen el metabolismo de lípidos, carbohidratos y proteínas, promueven la hiperplasia o atrofia de órganos internos alterando el estado hormonal e inmunológico, lo que resulta en retraso del crecimiento y efectos negativos en la salud de los animales (Qin et al., 2005). Niveles de 51-102 $mg\ g^{-1}$ de muestra puede causar hemaglutinación, los genotipos no tóxicos presentan alrededor de 25 $mg\ g^{-1}$ de muestra, concentración que se reduce por tratamiento térmico en 50% y evita el efecto restrictivo de HJCS como alimento (King et al., 2009).

Factores antinutricionales

En HJCS se encuentran compuestos antinutricionales como inhibidores de tripsina con actividad de 18.4 – 26.5 $mg\ g^{-1}$ de tripsina inhibida, Lectina 7.2 10.1% de fitatos y saponinas con 1.8-3.4% como equivalente de diosgenina (Makkar et al., 1998).

Los anti nutrientes son sustancias que por si mismas o por sus productos metabólicos generados en los sistemas vivos interfieren con los alimentos o con

su utilización, afectan la salud de los animales y pueden producir la muerte en dosis elevadas (Rakshit et al., 2008).

Inhibidores de tripsina

Los inhibidores de tripsina disminuyen la digestibilidad de proteínas en intestino, en soya se conocen dos inhibidores de proteasas, los tipo Kunitz son termolábiles y sensibles a ácido poseen un peso molecular de 20,000 a 25,000 Da y alta especificidad hacia tripsina y los de tipo Bowman-Birk mas termoestables con peso molecular de 6000 a 10000 Da, Una molécula del tipo Kunitz inhibe una molécula de tripsina o quimotripsina, mientras que los de tipo Bowman-Birk inhiben dos moléculas de tripsina o quimotripsina o una de tripsina y quimotripsina a la vez (Liener, 1994).

En intestino se unen la proteína de la dieta, si la concentración de tripsina es mayor que la concentración de inhibidores se presenta pérdida endógena de aminoácidos que contiene azufre y en caso contrario, se presenta pérdida exógena de proteína, en ambos casos se genera un balance de nitrógeno negativo. El proceso de inhibición de proteína inicia al detectarse disminución de tripsina en intestino lo que activa la liberación de colecistoquinina que a su vez estimula al páncreas para producir homocistina la cual se une a metionina proveniente de proteína tisular mas serina para formar cistationina, sustancia que es degradada a cistina mas homoserina. La cistina es convertida en tripsina y la homoserina en propionato que se une a valina y treonina para formar piruvato que se degrada hasta CO₂; el proceso resulta en balance de nitrógeno negativo, hiperplasia pancreática y pérdida de tejido corporal (Cabrera et al., 2013). El efecto adverso global por alto nivel de inhibidores de tripsina en la dieta es la reducción hasta 50% de digestibilidad de aminoácidos y proteína en el caso de animales mogástricos (Gilani et al., 2005).

Los inhibidores de tripsina son fácilmente reducidos o inactivados lo cual

favorece la calidad nutritiva de HJCS. El tratamiento térmico a 121°C por 30-45 minutos y humedad relativa de 60-87% (Makkar y Becker, 1997; Aderibigbe et al., 1997; Martínez- Herrera et al., 2006); tratamiento térmico a 100 °C en combinación con tratamiento a base de hidróxido de sodio e hidróxido de calcio (Katole et al., 2011), o a través de tratamiento con microorganismos (Abo El-Fadel et al., 2011; Megumi et al., 2012) han demostrado eficacia en reducir estos compuestos.

Fitatos

Son sustancias termoestables conocidas como ácido mio-inositol hexaquifosfato forma en la cual se almacena fósforo e inositol en las semillas de cereales, leguminosas y oleaginosas y su función principal es la liberación de grupos fosfatos e inositol durante la germinación y crecimiento de las plantas. El contenido de ácido fitico reportado en las semillas presenta rangos muy variables: 7 g kg⁻¹ en sorgo; 27 g kg⁻¹ en harina de Girasol; 33 g kg⁻¹ en harina de Algodón; 26 g kg⁻¹ en harina de Canola y 32 g kg⁻¹ en harina de soya respectivamente (Ravindran et al., 1999; Chitra et al., 1995). En harina de oleaginosas como *J. curcas* se han reportado niveles de 7.2 – 10.1% (Makkar et al., 1998).

Los fitatos forman quelatos a nivel intestinal, lo cual disminuye la disponibilidad de iones minerales di- y trivalentes como Ca²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺, Cu³⁺, y Fe³⁺, así como la digestibilidad de proteína al formar complejos e interactuar con enzimas como tripsina y pepsinas (Nabil et al., 2011). La presencia de fitatos en cereales o leguminosas reducen la digestibilidad de proteína y aminoácidos en más de 10% en el caso de cerdos o aves cuando sus raciones no son suplementadas con fitasas (Gilani et al., 2005). En investigación experimental con HJCS para alimentar ratas o peces ha sido necesario la incorporación de fitasas (Martínez - Herrera et al., 2006; Kumar et al., 2010). A diferencia de otros animales los

rumiantes poseen enzimas con actividad fitásica ligada a bacterias ruminales como *selenomona ruminantum* potencialmente capaz para utilizar el inositol hexaquifosfato de semillas de oleaginosas (Yanke et al., 1998).

Saponinas

Son compuestos glucósidos triterpenoides considerados como parte del sistema de defensa de las plantas y se acumulan durante el crecimiento regular de estas, su acumulación depende la condiciones ambientales adversas, disponibilidad de nutrientes, agua y radiación solar o la conjunción parcial o total de estos factores (Cabrera-Orozco et al., 2013). Presentan sabor amargo y en altas concentraciones y pueden reducir la palatabilidad de las plantas para el ganado. En HJCS se han detectado valores de saponinas de 1.8-3.4% como equivalente de diosgenina (Makkar et al., 1997), estos compuestos poseen habilidad para interactuar *in vitro* en forma irreversible con esteroides en la membrana de eritrocitos provocando un aumento en la permeabilidad y subsecuente hemolisis. Sin embargo, in vivo se requieren altas concentraciones de saponinas para afectar sustancialmente la permeabilidad de la membrana de células intestinales y alterar la absorción de nutrientes (Cabrera-Orozco et al., 2013). Debido a que poseen un efecto débil sobre la permeabilidad de membrana de intestino no llegan a afectar significativamente el transporte activo de nutrientes (Liener, 1994).

USOS DE HARINA DE *J. CURCAS* EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

Respuesta productiva

El uso de biorecursos involucra sustancias naturales con enfoques biotecnológicos y el en caso de *J. curcas* se ha investigado desde finales de los 90's su potencial para producir biocombustible y el subproducto resultante como alimento para animales (Gübitz et al., 1997).

Es conocido su contenido de proteína pero también de ésteres de forbol, curcina y factores antinutricionales que restringen su uso en animales (Aderibigbe et al., 1997). Sin embargo, existen variedades de *J. curcas* que no comparten el efecto toxico de ésteres de forbol, hecho comprobable en humanos que no manifiestan efectos adversos al consumir sus semillas previo tratamiento térmico (Makkar et al., 1998). Condición que favorece el uso de HJCS e incluso vislumbra la posibilidad de utilizar el aceite como fuente de energía en animales.

El contenido de proteína 627 g kg^{-1} en germen de semilla de *J. curcas* es mas alto que lo reportado para harina de soya (457 g kg^{-1}), aunque en pruebas iniciales de digestibilidad en rumen *in vitro* la degradabilidad de harina de germen de *J. curcas* fue menor (9.5%) que la observada en harina de soya. Mientras que la energía bruta fue similar ($18.2 \text{ vs } 19.4 \text{ MJ kg}^{-1}$) para ambas harinas (Aderibigbe et al., 1997). En otro reporte comparativo se observó que materia orgánica digestible y energía metabolizable estimadas en harina de *J. curcas* no tóxica fue similar al de variedades tóxicas (78.4-77.3% y 10.9-10.7

MJ kg⁻¹ respectivamente), pero inferior en 10.80% a la digestibilidad de materia orgánica estimada en harina de soya (Makkar et al., 1998).

Investigaciones sobre el valor nutricional de harina de *J. curcas* no tóxica sometida a tratamiento con calor húmedo y comparada con harina no tratada, demuestra que el tratamiento térmico aumenta en 60% la eficiencia de utilización de proteína (PER) en ratas, sin embargo, al compararla con caseína este parámetro fue inferior en 14%. Aparentemente el tratamiento térmico prolongado (>30 min.) altera la conformación de la proteína resultando en menor utilización de alimento para expresión en ganancia de peso (Makkar y Becker, 1999).

El uso de HJC detoxificada y tratada con calor para sustituir harina de pescado y harina de soya en carpa común (*Cyprinus carpio*) resultó en menor conversión de alimento cuando el nivel de sustitución es mayor al 50% en ambos tipos de harina (Kumar et al., 2010). Similarmente estos autores observaron efecto negativo en la digestibilidad aparente de materia seca, proteína, lípidos y energía de la dieta en peces por reemplazo mas allá de 50%; debido posiblemente a efecto adverso de compuestos no termolábiles como fitatos y al contenido de fibra en la dieta que interfiere en la utilización de nutrientes.

En el propósito de usar (HJCS) en rumiantes, se han desarrollado diversas investigaciones: Belew et al., (2010), alimentaron cabras con dietas que incluyeron 4% de harina de soya y sustituyeron el mismo porcentaje con HJCS detoxificada con *Aspergillus niger* o *Trichoderma Longibrachiatum* esta sustitución significó un aporte de 11.44 g de proteína animal día (g/c/d) a partir de harina de soya la cual fue reemplazada con 16.67 g de proteína, es decir 31.3% mas de proteína al sustituir igual cantidad de harina de soya por HJCS. No obstante el bajo nivel de reemplazo el consumo de materia seca disminuyó en 29.7 y 39.9% para harina tratada con *Aspergillus niger* y *Trichoderma Longibrachiatum*, respectivamente, y en forma paralela disminuyó el consumo de proteína y digestibilidad de la dieta.

En otro experimento HJCS tratada con hongos (*Rhizopus oligosporus* y *R. Nigrican*) para sustituir 50% de harina de soya incluida en 4% de la dieta, la respuesta productiva y valores hematológicos de cabras que consumieron 14.24 g HJCS / día no modificó el consumo de alimento, ganancia de peso, paquete de volumen celular y hemoglobina. Sin embargo, al sustituir el 100% de harina de soya con HJCS, esos parámetros decrecieron en 45, 89, 30.6 y 22%, respectivamente (Belewu et al., 2010b). Lo anterior vislumbra la ineficacia del proceso de detoxificación empleado y permite asociar la falta de efecto al bajo consumo de HJCS (14.24 g/animal/día) en relación al consumo de alimento diario por animal (712 g).

El-Zelaky et al. (2011), no observaron efecto en la respuesta productiva de ovinos alimentados durante 5 meses al usar HJCS tratada durante 21 días con 1 g de bacterias ácido lácticas por cada 100 kg de HJCS para sustituir 70% de harina de soya incluida en 10% en concentrado. En base al consumo observado y el nivel de sustitución de soya por HJCS, se observa que el consumo neto de harina de soya fue 6.97 gramos por animal por día (g/a/d) aportó 3.06 g de proteína -vs- 5.04 g/c/d de HJCS que aportaron 2.77 g de proteína, cantidad insuficiente para expresar respuesta productiva. Sobre todo si la proteína total consumida fue 179 g/a/d.

Aparentemente la detoxificación de HJCS con *Lactobacillus acidophilus* es mas efectivo que el tratamiento térmico para degradar inhibidores de tripsina 82 vs 75.5% y lectina 86.7 vs 83%, respectivamente (Abo El-Fadel et al., 2011). Al incluir 25% de esta HJCS en 10% de concentrado la digestibilidad efectiva de materia seca, materia orgánica y proteína cruda fue similar a dieta sin inclusión HJCS. Sin embargo, cuando el nivel de sustitución aumentó a 50% el efecto en estas variables fue inferior a de la dieta control (Abo El-Fadel et al., 2011), probablemente debido a efecto tóxico residual en HJCS.

En ese orden se ha demostrado que la HJCS procesada químicamente (NaCl y Ca(OH)_2) conserva un remanente de 15–16.8% de ésteres de forbol y la inclusión de 5 g kg^{-1} de esta harina en la dieta para ovinos para sustituir harina

de soya, fue suficiente para causar alteraciones hematológicas como, destrucción de eritrocitos, disminución de glucosa y urea sérica, además de disminuir el consumo de alimento y digestibilidad de materia de la dieta (Katole et al., 2011). En estudio similar, Katole et al. (2013) utilizaron HJCS procesada con 0.5% de sal común o 0.25% de cal Ca(OH)_2 para reemplazar 25% de proteína de soya en concentrado comercial para ovinos y evaluar características de canal en ovinos observando que los animales consumieron (g/c/d) 5.61 g de HJCS, cantidad suficiente para disminuir el consumo de alimento en 37.5% respecto a la dieta control (850.52 g) y generar un déficit de 65 g de proteína por animal / día lo cual afectó el peso de canal en 33.2% respecto al control. Efecto asociado a detoxificación parcial de HJCS tratada con álcalis o sal común.

El uso de HJCS tratada con metanol al 90% y sometida a 121 °C por 15 min en dieta para cerdos en niveles de 102 g kg^{-1} para reemplazar 50% de harina de soya incluida en 23% en la dieta, permitió sustituir 31.2% de la proteína total sin detrimento en ganancia de peso y eficiencia alimenticia. Igualmente las características de canal, peso de órganos viscerales, algunos valores hematológicos y cambios histopatológicos en hígado y riñón no fueron diferentes respecto al control (Wang et al., 2011). Lo cual elucida la eficacia relativamente buena de solventes para detoxificación de HJCS. No obstante la eficacia de detoxificación de HJCS, el uso de sustancias químicas puede transferir residuos con efectos adversos en el producto procesado lo cual afecta las características organolépticas y por consecuencia el consumo del subproducto por los animales (Megumi et al., 2011). Por otro lado, es conocido que HJCS además de proteína contiene minerales y compuestos lignocelulósicos (Gübitz et al., 1999), degradados al utilizar microorganismos para detoxificación de HJCS (Belew et al., 2008; El-zelaki et al., 2011, Abo- EL Fadel., 2011, Megumi et al., 2012), y excluyen el riesgo de residuos tóxicos en HJCS.

En ese orden, Megumi et al. (2011) reportan que el uso de HJCS detoxificada

en 99% con hongo lignocelulósico (*Pleurotus ostreatus*) durante 45 días, elimina el efecto negativo en consumo de alimento observado generalmente en experimentos previos al incluir HJCS en dietas para animales. Y reduce sustancialmente los niveles de lignina, hemicelulosa, celulosa y fitatos, circunstancia que aumentó la digestibilidad de HJCS *in vitro* (54.90% vs 77.91%) respecto al control e incrementó el valor nutricional, permitiendo reemplazar hasta 20% de harina de soya en dietas para cabras. Sin embargo, el porcentaje de digestibilidad de materia seca, materia orgánica y proteína cruda *in vivo* disminuyó linealmente con el incremento de HJCS lo que explica solamente mayor velocidad de paso y rápido vaciado de rumen. Indudablemente la ausencia de alteraciones clínicas en los animales utilizados y el nivel de sustitución empleado reflejaron la efectividad de detoxificación y transfiere certidumbre al uso de HJCS como alimento para animales aunque se debe considerar la duración y costo del proceso de detoxificación.

Recientemente la evaluación HJCS no tóxica sin tratamiento térmico e incluido en alimento concentrado para ovinos en 300 g kg⁻¹ de materia seca, no afectó la respuesta productiva, características de canal y el estado de salud de los animales (Oliveira et al., 2014). En relación a esos resultados, es bien documentada la presencia de compuestos antinutricionales en variedades de *J. curcas* tóxicas y no tóxicas (Makkar et al., 1998; Martínez-Herrera et al., 2006; Rakshit et al., 2010), así como el efecto adverso de estos inhibidores de proteasas en la utilización de nutrientes resultado de inhibición de tripsina y quimotripsina (Liener, 1994). También es conocido que los inhibidores poseen poco efecto sobre las proteínas cuando estos compuestos se encuentran en baja cantidad (<5.0 mg g⁻¹ de proteína) lo que aumenta la digestibilidad y utilización de proteína (PER) (Gilani et al., 2012). En ese experimento el ingreso de HJCS basado en el nivel de consumo fue de 28.6, 58 y 87 (g/c/d) para el nivel de sustitución de 100, 200 y 300 g kg⁻¹ de harina de soya por HJCS. Lo cual significó insuficiente contribución de proteína a partir de HJCS para expresión de respuesta productiva y bajo nivel de inhibidores de proteasas, asumiendo un contenido de 25% de proteína y aproximadamente 21.5 mg g⁻¹

de inhibidores de tripsina en la HJCS consumida.

En ese orden de experimentos la inclusión de 210 g kg⁻¹ de HJCS no tóxica sometida a tratamiento térmico en dietas integrales sustituyó totalmente la harina de soya contenida en 10.5% el pienso de ovinos en finalización sin afectar el estado fisiológico de los animales y el consumo de alimento (Félix-Bernal et al., 2014). Sin embargo, el nivel de energía de mantenimiento correspondiente a la composición química de HJCS empleada, disminuyó linealmente al aumentar el nivel de reemplazo de HJCS de 70 a 210 g y con ello redujo el peso final, ganancia de peso y eficiencia alimenticia, posiblemente por aporte elevado de FND a partir de HJCS. Aún cuando la interacción de FND con sistemas enzimáticos de microbios en rumen permite proveer energía y la digestión de FND en rumen *in vitro* es relativamente aceptable (62.40%), la HJCS mantiene alrededor de 40.80% de FND indigestible (Botero et al., 2012). Lo cual llega a afectar la respuesta animal cuando la FND es consumida en cantidades elevadas. La inclusión de HJCS mejoró la relación músculo grasa en la composición del hombro, y tendencia a incrementar grasa en vísceras, como consecuencia de mayor aporte lipídico (56 g/d) de HJCS a los animales. Estos reportes evidencian que el uso HJCS no tóxica es inocua para animales pero se debe considerar el contenido de FND y su efecto en la respuesta animal en planes de alimentación.

En investigación reciente Da Silva et al. (2015) reportaron que el lavado de HJCS con etanol al 90% redujo los ésteres de forbol a 0.04 mg g⁻¹ de materia seca, concentración inferior en 44% del valor reportado por (Aregheore et al., 2003) y considerado aceptable para alimentación de ratas. Sin embargo al utilizar esta harina para sustituir en 0–100% la harina de soya contenida en 10.89% en dietas para bovinos, basadas en silo de maíz (65%) y concentrado, observaron que el consumo, digestibilidad de materia seca y materia orgánica disminuyeron linealmente conforme aumentó el nivel de reemplazo, efecto contrario al reportado por Megumi et al. (2012) al utilizar HJCS biodetoxificada con contenido de 0.018 mg g⁻¹ de ésteres de forbol. Da Silva et al. (2015)

observaron que los parámetros relacionados a daño hepático no fueron modificados por efecto de tratamientos lo cual confirma la efectividad del proceso químico para degradar ésteres de forbol; Sin embargo, la presencia de residuos en HJCS procesada químicamente transfieren características indeseables al olor, sabor y explican la falta de palatabilidad y reducción de consumo de alimento (Widiyastuti et al., 2015; Li et al., 2015). En procesos de detoxificación menos eficientes limitan la cantidad de HJCS a emplear para evitar alteraciones clínicas en los animales.

En ese sentido, en prueba de alimentación con cerdos usando HJCS con diferente concentración residual de ésteres de forbol (2.75 a 13.75 mg kg⁻¹ de dieta) para sustituir 15 a 75% de proteína de harina de soya en alimento demostró que puede existir daño histológico como esteatosis o lípidosis hepática, aún cuando no aparecen ésteres de forbol en tejido hepático y no exista diferencia en consumo de alimento (Li et al., 2015). Estos autores reportaron que el efecto de dieta con 2.75 mg de ésteres de forbol por kg de materia seca (0.0967 mg kg⁻¹ de peso corporal) en respuesta productiva y estado de salud de animales fue similar a los que consumieron dietas sin ésteres de forbol; incluso, el contenido de 5.5 mg kg⁻¹ de ésteres de forbol por kg de dieta (0.1900 mg kg⁻¹ de peso corporal) no modificó la respuesta productiva, nivel de aspartato alanino transferasa ni manifestación histológica de daño renal; sin embargo, se observó lípidosis hepática (Li et al., 2015). Hechos que evidencian la concentración máxima tolerada al utilizar HJCS como alimento en cerdos.

En base a lo anterior, e independientemente del método de detoxificación empleado, el criterio para usar HJCS en alimentación animal debe considerar además del contenido residual de ésteres de forbol, los compuestos químicos remanentes que alteran la palatabilidad de HJCS, el nivel y tipo de reemplazo, la concentración de compuestos en alimento y el peso corporal de los animales que los consumen para evitar efectos adversos en respuesta productiva y en salud animal cuando la HJCS proviene de variedades tóxicas. Condición

aparentemente innecesaria al utilizar HJCS no tóxica como alimento debido a que se obvia el costo y tiempo empleados en el proceso de detoxificación lo que hace posible transferir ese valor al proceso agroindustrial del cultivo.

USOS DE ACEITES VEGETALES EN ALIMENTACIÓN DE GANADO

El interés por producir biocombustibles para contrarrestar la disminución de combustibles fósiles y problemas de contaminación ambiental origina el surgimiento *J. curcas* como cultivo para producir aceite como materia prima para elaboración de biodiesel. Entre otros países (China Brasil, Malasia, Tanzania, Filipinas, África) México realizó sus planes para producir aceite de *Jatropha* y sustentado en la existencia endémica de *J. curcas* en Yucatán, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero, Puebla, Morelos, Nayarit, Jalisco, Michoacán y Sinaloa (González et al., 2015) inició la plantación de *J. curcas* en el sureste y noroeste mexicano, sin embargo, los cultivos mostraron inconsistencia en desarrollo y producción de frutos. Demostrando que la planta debe ser aun sujeto de inversión científica y tecnológica para mejorar el rendimiento de semilla en condiciones de cultivo comercial.

En ese sentido estudios sobre viabilidad comercial del cultivo de *J. curcas* reportan que los niveles de rendimiento anual deben ser 4-5 t de fruto, 3.5 t de semilla con 30-35% de aceite y 1.2 t de aceite por ha parámetros superiores al rendimiento de cultivos como soya y canola (Edrisi et al., 2015).

No obstante que el cultivo de *J. curcas* este orientado a la producción de de biodiesel (Padilla et al., 2011), el aceite de *J. curcas* de variedades no tóxica posee potencial como aceite comestible y su elevado contenido de ácido linoleico puede constituir ventajas a la salud humana (Martínez-Herrera et al., 2010).

Por otro lado la menor proporción de ácidos grasos insaturados / saturados presente en aceite de *J. curcas* respecto a aceite de canola y girasol (3.5 vs 8.8 y 15.1 respectivamente) (Baldini et al., 2014), le confiere ventaja para usarse

como fuente energética en dietas para rumiantes, animales cuya flora ruminal es susceptible a la acción tóxica de niveles elevados de ácidos grasos poliinsaturados (Sanz Sampelayo et al., 2007).

Adicionalmente, presenta la desventaja de alto nivel de P (29.07 ppm), Ca (34.53) y Mg (33.51 ppm) minerales que deben reducirse a <1 ppm en biodiesel para evitar formación de depósitos en motores (Baldini et al., 2014), inconveniente que resulta positivo al considerar su como aporte mineral en alimentación animal. De igual forma al ser extraído por presión mecánica elimina la influencia de agentes químicos en sus características y evita el riesgo de estos residuos en el aceite (Baldini et al., 2014). También son innecesarios procesos industriales como desgomado, desacidificación, blanqueado y desodorización previos a elaboración de biodiesel (Lafargue-Pérez et al., 2011), al dirigir el aceite crudo como suplemento energético a piensos para rumiantes.

Lípidos en nutrición de rumiantes

La contribución de lípidos en la alimentación de rumiantes consiste en la interacción de los lípidos añadidos con el funcionamiento del rumen y el tipo y forma en que los lípidos estén presentes en la dieta son determinantes para el tipo de interacciones en el compartimento digestivo. Como ejemplo en los forrajes los ácidos grasos son principalmente poliinsaturados y en baja proporción, en cereales se encuentran aproximadamente 70% en forma de glucolípidos mientras en semillas de oleaginosas como algodón y soya los ácidos grasos en el extracto etéreo es alrededor de 90% (Church, 1993). Y el porcentaje en que estos se encuentren presentes en la dieta modulan el proceso digestivo. En el caso de ácidos grasos libres se caracterizan por elevada susceptibilidad a biohidrogenación y pueden comprometer los parámetros de digestibilidad ruminal en condiciones de pH bajo, mientras dietas altas en fibra evitan la reducción de pH (Nagaraja et al., 2007).

Los aceites de refinería libres o en forma de sales cálcicas también se adicionan a las dietas como aporte energético, siendo este el caso es necesario considerar que poseen pH bajo (4.5) característica que les confiere un efecto acidogénico, tienden a ser tóxicos para la microbiota ruminal además de influenciar la palatabilidad del pienso y alterar el proceso de biohidrogenación (Blanco et al., 2012)

Aún cuando el grado de hidrogenación de lípidos en rumen esta asociado al nivel de suplementación, pH, perfil de ácidos grasos y forma de suplementación, entre otros, existen circunstancias bien definidas en el uso de lípidos en rumiantes (Zinn y Plascencia, 2007), Primera; la biohidrogenación es una forma de protección de flora ruminal al efecto tóxico de ácidos grasos insaturados de cadena larga (Maia et al., 2010). No obstante cuando ingresa a rumen alto porcentaje de ácidos poliinsaturados existe cierto grado de protección a la biohidrogenación, permitiendo mayor flujo de estos a duodeno (Montgomery et al., 2007). Segunda; debido a que en rumen no existe digestión de lípidos, cuando se inhibe la biohidrogenación por contenido elevado PUFA el valor de la suplementación depende de la digestión de ácidos grasos que ingresa a intestino. Y tercera; a medida que se incrementa la cantidad de lípidos consumidos por kg de peso corporal, la digestion intestinal disminuye debido a reducción en la producción de bilis (40 mL g⁻¹ vs 17 mL g⁻¹ de grasa) para bajo y alto nivel de suplementación, hecho que dificulta su digestión (Plascencia et al., 2004).

Según Plascencia et al. (2003), el valor nutricional de los lípidos no varia independientemente de la fuente o forma en que sean suplementados, siempre y cuando su consumo sea inferior a 0.96 g kg⁻¹ de peso corporal. Por otro lado un aspecto a considerar con el uso de lípidos en rumiantes es el hecho que contribuyen a reducir el uso de carbohidratos altamente fermentables y cuando se incluyen como aceite vegetales insaturados ocasionan la reducción de metano en la producción, circunstancia positiva que puede constituir una

práctica para reducir el riesgo ambiental generado por la explotación de ganado (Delgado et al., 2012).

Diversos estudios reportan la inclusión de lípidos no protegidos en rumiantes a partir de aceite de canola, girasol, soya, coco, linaza con la finalidad de evaluar su aporte nutricional en la respuesta productiva y transferir ácidos grasos insaturados al tejido comestible. En ese proceso se ha observado modificación en la proporción molar de ácidos grasos volátiles, debido probablemente a efectos negativos a la población microbiana y por consecuencia en el patrón de fermentación que afecta la digestibilidad de la fibra, efecto mas pronunciado al adicionar ácidos grasos poliinsaturados de mas de 20 carbonos, aun en porcentajes inferiores a 4% de inclusión (Martínez et al., 2012; Beauchemin et al., 2007). En otros estudios la adición de aceites vegetales no afectó los parámetros de digestión de carbohidratos no estructurales, nitrógeno amoniacal, microbiano y digestibilidad total de proteína (Montgomery et al., 2008; Beauchemin et al., 2007); Sin embargo, debemos considerar que el uso de aceites comestibles como aporte energético en la industria pecuaria es contrapuesto a la recomendación de evitar competencia alimenticia entre humanos y animales (FAO, 2013).

Por ello, usualmente se emplean grasas saturadas de origen animal como suplemento energético a rumiantes, empero como subproducto animal no es remoto considerar su posible contaminación con agentes infecciosos y riesgo de producir enfermedades infecciosas al humano (Zinn y Plascencia, 2007). Por este motivo, se ha incluido en la normatividad oficial mexicana la reglamentación que regula la importación de materiales como el sebo de res de regiones que representen peligro de introducción de EEB (NOM-060-ZOO-1999; NOM-061-ZOO-1999).

Basado en esas condiciones los aceites vegetales pueden suplir el uso de grasas de origen animal y aquellos considerados no comestibles como el de *J.*

curcas no tóxica constituye una alternativa a considerar, debido a su perfil de ácidos grasos. El rendimiento de aceite de *J. curcas* es 20 y 40%, más alto que el obtenido de soya y canola, respectivamente. El perfil de ácidos grasos es similar al de aceite de canola y ajonjolí, contiene mayoritariamente ácido linoleico (42.9%), oleico (33.0%), palmítico (11.41%) y esteárico (6.33) y la proporción de ácidos insaturados/saturados es de 4.16 (Sosa-Segura et al., 2014). Perfil que hipotéticamente presentará en rumen, un comportamiento similar al aceite de palma y menor aporte de ácidos grasos insaturados respecto al aceite de soya.

Como anteriormente se mencionó, la forma en que los lípidos se encuentran en los alimentos es determinante para su utilización y el impacto en el resto de ingredientes de la dieta. Los lípidos presentes en tejidos vegetales corresponden principalmente a fosfolípidos y los ácidos grasos son principalmente alfa linoleico, linoleico, palmítico, oleico y trans hexadecanoico, los almacenados en las cereales se encuentra en forma de carbohidratos como glucolípidos (Church, 1993). Mientras en oleaginosas predominan lípidos en forma de triglicéridos y generalmente con nivel elevado de ácidos grasos insaturados, predominantemente ácido linoleico como en soya y *J. curcas* (Sosa- Segura et al., 2014).

Los ácidos grasos pueden ser incorporados a la dieta en forma libre o como semilla enteras, protegidos mediante procedimientos físicos o químicos (encapsulación, hidrogenación, sales de calcio o acilamidas) procesos que permiten incrementar la cantidad de ácidos grasos dietarios disponibles para absorción intestinal a la par que se reducen los efectos negativos sobre la población microbiana ruminal (Martínez et al., 2012). Si bien, el uso de lípidos en rumiantes es para aportar energía su eficiencia energética dependerá de la forma y el nivel en que se encuentran en la dieta, del proceso de hidrólisis y biohidrogenación.

Biohidrogenación de lípidos

Como biohidrogenación (BH) se entiende la incorporación de H a los dobles enlaces en el carbono de ácidos grasos insaturados en rumen y consiste en un proceso de detoxificación de microorganismos de rumen para evitar el efecto bacteriostático ejercido por ácidos poliinsaturados (Maia et al., 2010).

Los lípidos que ingresan a rumen son rápidamente hidrolizados a glicerol y ácidos grasos libres, el glicerol se fermenta para producir ácido propiónico que es absorbido a través de la pared de rumen. Algunos ácidos grasos son utilizados por bacterias para síntesis de fosfolípidos en sus membranas y el resto son hidrogenados por bacterias como *Butyrivibrio fibrisolvens* responsable de reducir 18:1 t₁₁ a 18:0 y *Megasphaera elsdenii* que reduce 18:2 a formas t₁₀ c₁₂, acción que varía según la naturaleza de la dieta, interacción con microorganismo ruminales, composición de ácidos grasos suplementados, variación de animal a animal y densidad de bacterias claves (Ferreira et al., 2015).

La hidrólisis es el paso previo a biohidrogenación y para que esta sea exitosa requiere de un grupo carboxilo libre en el ácido graso insaturado (Montgomery et al., 2007). La velocidad de hidrólisis es factor limitativo ejercido por los microorganismos para evitar efectos adversos de ácidos poliinsaturados en la digestión de la fibra y biohidrogenación.

La biohidrogenación es menor con dietas ricas en cereales lo que favorece mayor escape de ácidos grasos al tracto posterior. La mayor parte de lípidos que salen del rumen son ácidos grasos saturados (85-90%) en forma de ácido palmítico y esteárico ligados a partículas de alimento y fosfolípidos microbianos en (10-15%). Tanto los microbios como los ácidos grasos se asocian a las partículas de alimento, entonces la reducción de BH puede ser también efecto de la reducción de partículas (Church, 1993).

La biohidrogenación de ácido oleico origina isómeros con dobles enlaces trans en los carbonos 6-16 de estos el 56% corresponde a isómeros trans 6-11, dependiente de acción de isomerasas de una mezcla de microbios que actúan según el tipo de sustrato y condiciones de pH en rumen, esos isómeros trans son precursores de ácido esteárico en rumen y ácido linoleico conjugado (CLA: 18:2 $c_9 t_{11}$) en músculo (Mosley et al., 2002). Mientras que el ácido linoleico, (18:2, $c_9 c_{12}$) es rápidamente convertido a seis isómeros de ácido linoleico conjugado (CLA), por proceso que incluye reacciones de hidratación-deshidratación seguida de dos isomerizaciones cis- trans para formar principalmente ácido ruménico (18:2 $c_9 t_{11}$) y el isómero $t_{10} c_{12}$ como los mas abundantes, seguidos de $t_9 t_{11}$ y menor cantidad de $t_9 c_{11}$; $c_9 c_{11}$ y $c_{10} c_{12}$ (Wallace et al., 2007). El ácido ruménico y el isómero 18:2 $t_9 t_{11}$ son convertidos a ácido vaccénico (18:1 t_{11}) y este a su vez en ácido esteárico para abandonar el rumen, los isómeros $c_{10} c_{12}$; $t_{10} c_{12}$; $t_{10} t_{12}$; $c_9 c_{11}$; $t_8 t_{10}$ son hidrogenados a 18:1 $c_{10} c_{12}$; t_{10} ; t_{12} ; t_8 ; c_{11} y t_9 respectivamente antes de formar ácido esteárico por otra ruta (Shingfield et al., 2013). La forma y concentración en que abandonen el rumen es dependiente de la concentración y tipo de población microbiana. Adicionalmente, al aporte energético algunos isómeros como el ácido vaccénico abandonan el rumen y constituyen el sustrato de enzimas Δ desaturasas en tejidos animales para formar CLA, el cual se asocia con un amplio rango de respuestas fisiológicas positivas a la salud humana (Maia et al., 2010).

Oxidación de lípidos

Los ácidos grasos de cadena corta y media liberados en intestino son absorbidos por el intestino y se conducen a través de la vena porta al hígado, donde se oxidan rápidamente.

El catabolismo de lípidos contempla la hidrólisis de triglicéridos en glicerol y ácidos grasos, los ácidos grasos son oxidados en un proceso anaerobio que

implica la introducción de un oxígeno en el carbono β y se realiza en cuatro reacciones que incluyen oxidación, hidratación, oxidación y tiólisis. Los productos finales en cada vuelta incluyen $+H$ y ACoA. En el ejemplo común de oxidación de ácido palmítico se obtienen 7 moléculas de $FADH_2$, 7 $NADH + H^+$ y 8 de ACoA. Los electrones de FAD y NADH son acoplados por la enzima ATP sintasa en la cadena de electrones mitocondrial para síntesis de ATP; en este proceso se genera 2.5 mol de ATP a partir de NADH y 1.5 por FAD. La molécula de ACoA entra al ciclo de los ácidos tricarboxílicos y su oxidación produce 3 moles de $NADH+H$; 1 GTP y 1 $FADH_2$. De esta forma la descarboxilación oxidativa de una molécula de ácido palmítico rinde 106 mol de ATP (Murray et al., 2010). Disponible para diversas funciones tanto en rumiantes como en otros mamíferos.

ACEITES VEGETALES EN PRODUCCIÓN ANIMAL

Respuesta productiva

En la industria pecuaria convencionalmente se adiciona a las dietas grasas animal o mezclas de grasas (Vasconcelos y Galyean, 2007), y aceites de la industria restaurantera con el fin de incrementar la eficiencia alimenticia en los animales, mejorar la palatabilidad del alimento y contrarrestar el estrés térmico (Zinn y Plascencia, 2007). Mientras que la razón principal de utilizar aceites vegetales comestibles altos en ácidos insaturados ha sido aumentar su concentración en la carne además de aportar energía a las dietas (Kronberg et al., 2012; Choi et al., 2013; Blanco et al., 2014; Montgomery et al., 2007; Atkinson et al., 2006; Alvarado-Gilis et al., 2014).

La característica insaturada de los ácidos grasos ejerce un efecto inhibitorio en la producción de metano como resultado de la hidrogenación de ácidos insaturados en rumen, fenómeno que puede ayudar a optimizar la eficiencia de energía y reducir el impacto ambiental del ganado (Machmuller, 2006). Así como reducir el uso de carbohidratos altamente fermentable y el riesgo de acidosis en rumen (Enemark, 2008).

Los ácidos grasos son muy susceptibles a la biohidrogenación, fenómeno que repercute adversamente en los parámetros de digestibilidad y en variación en la respuesta productiva animal (Nagaraja et al., 2007). Al respecto, la inclusión de 3,6 y 9% de aceite de cártamo a dietas para ovinos no modificó la digestibilidad de materia orgánica, fibra detergente neutro pero aumentó el flujo de nitrógeno a duodeno (Atkinson et al., 2006) y en respuesta productiva el efecto de dietas

con relación forraje concentrado 18.4: 81.6 adicionadas con 2.5 y 4% de aceite de palma no modificó la ganancia diaria de peso (GDP) y el consumo de alimento (CA) (Manso et al., 2006).

Similarmente Toral et al. (2009) reportan ausencia de efectos sobre el CA en ovinos al consumir 37g kg^{-1} de peso vivo de materia seca (MS) suplementada con mezcla de 20% de aceite de girasol más 10% de aceite de pescado. Resultados concordantes expresaron ovinos jóvenes al consumir 1.74 g kg^{-1} de aceite de soya por kg de peso corporal, en GDP, CA y EA (Manso et al., 2009).

En experimento con novillos en engorda, Araujo et al. (2010) al evaluar la adición de PUFA protegidos a la dieta en nivel de 2.5%, observaron efecto contrario en peso final (PF), CA y GDP de lo reportado por (Manso et al., 2009) pero similar en disminución de CA en novillos, generado por suplementación de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) no protegidos y protegidos en proporción de 0.66 y 0.61% del peso corporal (Cooke et al., 2011). De igual forma este efecto coincide con lo reportado por Bhatt et al. (2011) sobre disminución de CA en ovinos al consumir cantidades crecientes de aceite de coco de 0.572, 0.939 y 1.07 g kg^{-1} de peso corporal, aunque, el efecto fue posiblemente relacionado a mayor aporte energético que al efecto negativo en la digestión del aceite de coco, según lo reportado por (Zinn y Plascencia, 2007).

En otra prueba de alimentación con ovinos, el aceite de coco incluido en 14% en concentrado en dieta 50:50 forraje concentrado causó reducción de consumo en 21% del peso vivo y 32% en la materia orgánica, efecto asociado a inhibición de movimiento ruminoreticular (Delgado et al., 2012). Paralelamente estos autores reportaron disminución de 35% en producción de metano.

Contrariamente, la inclusión de aceite de canola y girasol en 30 g kg^{-1} de MS en dietas 50:50 forraje concentrado no afectó el CA de ovinos en experimentación (Oliveira et al., 2012). En novillos en engorda, el efecto de dietas suplementadas con 3% de aceite de soya versus 3% de aceite de palma, el aceite de soya disminuyó la GDP, CA y por consecuencia la eficiencia

alimenticia EA, efecto contrario al observado con aceite de palma (Choi et al., 2013).

Por su parte, Blanco et al. (2014) reportaron que la disminución en digestibilidad de la fibra y materia orgánica (MO) no afectó el CA y GDP de ovinos en finalización al adicionar a la dieta sales cálcicas de aceite de cártamo. En cambio, el CA disminuyó en ovinos alimentados con dietas 40:60 forraje/concentrado y suplementadas con 4.5% de aceite de soya y girasol (1.36 g kg⁻¹ de aceite por kg de peso corporal por día), sin embargo no afectó la GDP y EA (Ferreira et al., 2014).

En el mismo propósito, el uso de semillas de linaza al 5% como fuente de energía en dietas para rumiantes mejoró la EA y adicionalmente la concentración de PUFA en carne de bovinos en engorda (Alvarado-Gilis et al., 2014). Mas recientemente, la suplementación a dietas para ovinos con aceite de soya al 4% no tuvo efecto sobre CA y digestibilidad de materia orgánica y fibra neutro detergente (Ferreira et al., 2015).

Con base en lo expuesto, es claro que las diversas condiciones experimentales generan las contradicciones encontradas en la literatura. Razón por la cual, la suplementación con aceites vegetales a dietas para animales debe basarse en patrones comunes que consideren el ingreso neto de ácidos grasos en relación al peso corporal, en vez de cantidad de alimento consumido, potencial de biohidrogenación de ácidos poliinsaturados en función de las condiciones ruminales, tasa y velocidad de pasaje de dietas a tracto posterior y lógicamente relacionado con las características de la dieta basal, tipo de animal, fuente de aceite utilizado, perfil de ácidos grasos insaturados, forma y nivel de suplementación.

Respecto al aceite de *Jatropha curcas* no tóxica no existe información disponible como suplemento energético en animales por lo que es pertinente evaluar su aplicación como fuente de energía en dietas para rumiantes y uso alternativo a la producción de biocombustibles.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1 ¿Cuál es la composición nutrimental, contenido de ésteres de forbol e inhibidores de tripsina de harina de semilla de *J. curcas* no tóxica?
- 2 ¿Qué efectos fisiológicos causa el consumo de dietas que contienen harina de semilla de *J. curcas* no tóxica de ovinos en engorda?
- 3 ¿Cuál es el efecto de dietas que contienen harina de semilla de *J. curcas* no tóxica en la respuesta productiva (consumo de alimento, incremento de peso y eficiencia alimenticia) de ovinos en engorda?
- 4 ¿Cuál es el efecto de dietas que contienen harina de semilla de *J. curcas* no tóxica sobre las características de la canal de ovinos en engorda?
- 5 ¿Cuál es la calidad oxidativa y toxicológica del aceite de *J. curcas* no tóxica a emplear en este experimento?
- 6 ¿Que efectos fisiológicos causa en ovinos en engorda, el consumo de dietas suplementadas con aceite de *J. curcas* no tóxica?
- 7 ¿Cuál es el efecto de las dietas suplementadas con aceite de *J. curcas* no tóxica sobre la respuesta productiva de ovinos en engorda?
- 8 ¿Cuál es el efecto del consumo de dietas suplementadas con aceite de *J. curcas* no tóxica sobre las características de canal de ovinos en engorda?

HIPÓTESIS

1. En ovinos, el consumo de dietas que contienen harina de semilla de *J. curcas*, como sustituto de proteína de harina de soya y maíz, no altera su estado fisiológico, mantiene la respuesta productiva y no modifica el producto final de estos animales.
2. El empleo de aceite de semilla de *J. curcas*, como suplemento energético en dietas para ovinos en engorda, no altera su estado fisiológico, mantiene la respuesta productiva y en niveles de 6% con excepción de grasa, no altera las características de la canal.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se diseñó para evaluar el potencial nutricional de harina y aceite de semilla de *J. curcas* como aporte proteico y energético respectivamente, en dietas para rumiantes. Se desarrolló en 2 etapas: una descriptiva y otra experimental, en dos fases de experimentación.

Fase descriptiva.

Se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Culiacán. En este centro de proceso la semilla de *J. curcas* para obtener harina y aceite.

En esta fase se determinó la composición nutrimental, toxicológica y antinutricional de harina de *J. curcas* y características fisicoquímicas de aceite del aceite.

Fase experimental

Se desarrolló en la unidad de investigación para pequeños rumiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia en la Universidad Autónoma de Sinaloa.

En la primera fase de experimentación se utilizaron dietas con harina de semilla de *J. curcas* como fuente de proteína en la alimentación de ovinos para evaluar su efecto en indicadores fisiológicos, respuesta productiva, características de la canal y energía dietaría.

En la segunda fase de experimentación se utilizaron dietas suplementadas con aceite de *J. curcas* como aporte energético para alimentar ovinos en finalización

y evaluar su efecto en indicadores fisiológicos, respuesta productiva, características de la canal y energía dietaría.

La investigación sobre el uso de harina de semilla de *J. curcas* no tóxica es limitada los niveles empleados no sustituyen por completo la proteína aportada por harina de soya y el nivel de reemplazo no es consistente para asociar los efectos de tratamientos al uso de harina de *J. curcas*. Por lo anterior, un tratamiento en esta prueba incluyó el reemplazo total de proteína de harina de soya. Por otra parte, no se encontró información disponible sobre uso de aceite de *J. curcas* como aporte energético en alimentación de rumiantes, razón que originó su inclusión en la segunda fase de esta investigación.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el potencial nutricional de harina y de aceite de semilla de *Jatropha curcas* como ingrediente alimenticio en dietas para ovinos en engorda.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de dietas con inclusión de harina de semilla de *J. curcas* no tóxica sobre el estado fisiológico de ovinos en engorda.
2. Determinar el efecto de dietas con inclusión de harina de semilla de *J. curcas* no tóxica sobre la respuesta productiva (consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia) de ovinos en engorda.
3. Determinar el efecto de dietas con inclusión de harina de semilla de *J. curcas* no tóxica sobre las características de canal de ovinos en engorda.
4. Determinar el efecto de dietas suplementadas con aceite de *J. curcas* no tóxica sobre el estado fisiológico de ovinos en engorda.
5. Determinar el efecto de dietas suplementadas con aceite de *J. curcas* no tóxica sobre de respuesta productiva (consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia) de ovinos en engorda.
- 6.
7. Determinar el efecto de dietas suplementadas con aceite de *J. curcas* no tóxica sobre las características de canal de ovinos en engorda.

JUSTIFICACIÓN

La justificación del presente trabajo estriba en la generación de conocimiento sobre el uso de fuentes alternas de proteína y energía como base para transferencia tecnológica al sector pecuario y contribuir con evidencias científicas a disminuir la importación de pastas proteicas, así como el uso de grasa animal provenientes de rumiantes como aporte energético en dietas para rumiantes.

Generar conocimiento como base para impulsar investigaciones científicas orientadas a evaluar el efecto de este aceite en disminución de producción de metano en la industria pecuaria, al desarrollo productivo de *J. curcas* no tóxica y formación de organizaciones sociales que se beneficien mediante la producción de proteína vegetal para uso animal y aceite de *J. curcas* con uso alternativo a la elaboración de biocombustible.

Indirectamente, es posible contribuir a evitar la erosión de suelos como resultado de implantar cultivos de *J. curcas*.

REFERENCIAS

- Abo El-Fadel, M.H., Hussein, M.H., Mohamed, A.H., 2011. Incorporation *Jatropha curcas* Meal on Lambs Ration and It's effect on Lambs Performance. *Journal of American Science*. 7, 129-132.
- Achten, W.M.J., Mathijs, E., Verchot, L., Singh, V.P., Aerts, R., Muys, B., 2007. *Jatropha* biodiesel fueling sustainability. *Biofuels Bioproducts Biorefining*. 1, 283–291.
- Adebowale, Y.A., Adeyemi, I.A., Oshodi, A.A., Niranjana, K., 2007. Isolation, fractionation and characterisation of proteins from Mucuna bean. *Food Chemistry*. 104, 287-299.
- Aderibigbe, A.O., Johnson, C.O.L.E., Makkar, H.P.S., Becker, K., Foidl, N., 1997. Chemical composition and effect of heat on organic matter and nitrogen-degradability and some antinutritional components of *Jatropha* meal. *Animal Feed Science Technology*. 67, 223-243.
- Alvarado-Gilis, C.A., Aperce, C.C., Miller, K.A., Van Bibber-Krueger, C.L., Uwituze, S., Drouillard, J.S., Higgins, J.J., 2014. Effects of feeding diets rich in α -linolenic acid and copper on performance, carcass characteristics, and fatty acid profiles of feedlot heifers. *Journal of Animal Science*. 92, 5612-5621.
- AMEG. 2015. Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado <http://www.ameg.org.mx/estadisticas/nacional/produccion/>
- ANIAME. 2015. Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles A.C. Portal aniame.com/articulo-28.
- Araujo, D.B., Coke, R.F., Hansen, G.R., Staples, C.R., and Arthington, J.D., 2010. Effects of rumen protected polyunsaturated fatty acid supplementation on performance and physiological responses of growing cattle after transportation and feedlot entry. *Journal of Animal Science*. 88, 4120-4132.
- Aregheore, E.M., Becker, K., Makkar, H.P.S., 2003. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. *South Pacific Journal Natural Science*. 21-51.
- Atkinson, R.L., Scholljegerdes, E.J., Lake, S.L., Nayigihugu, V., Hess, B.W., Rue, D.C., 2006. Site and extent of digestion, duodenal flow, and intestinal disappearance of total and esterified fatty acids in sheep fed a high-concentrate diet supplemented with high-linoleate safflower oil. *Journal of Animal Science*. 84, 387-396.

Baldini, M., Bulfoni, E., Ferfua, C., 2014. Seed processing and oil quality of *Jatropha curcas* L. On farmscale: A comparison with other energy crops. *Energy for Sustainable Development*. 19, 7-14.

Barbieri, L., Battellia, M.G., Stirpe, F., 1993. Ribosome-inactivating proteins from plants. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1154, 237-282.

Barbieri, L., Polito, L., Bolognesi, A., 2006. Ribosome-inactivating proteins in edible plants and purification and characterization of a new ribosome-inactivating protein from *Cucurbita moschata*. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1760, 783–792.

Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions. *Journal of Animal Science*. 85,1990-1996.

Belewu, M.A., Belewu, K.Y., Ogunsole, F.O., 2010. Nutritive value of dietary fungi treated *Jatropha curcas* kernel cake: Voluntary intake, growth and digestibility coefficient of goat. *Agriculture Biology Journal Natural American*. 1, 135-138.

Belewu, M.A., Eniolorunda, O.O., Ilori, G.I., 2010b. Response of Goat to Fungi (*Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus nigrican*) treated *Jatropha curcas* kernel cake. *Archives of Applied Science Research*. 2, 255-261.

Bhatt, R.S., Soren, N.M., Tripathi, M.K., Karim, S.A., 2011. Effects of different levels of coconut oil supplementation on performance, digestibility, rumen fermentation and carcass traits of Malpura lamb. *Animal Feeding Science and Technology*. 164, 29-37.

Blanco, C., Giraldez, N., Prieto, N., Morán, L., Andrés, S., Benvides, J., Tejido, L., Bodas, R., 2014. Effects of dietary inclusion of sunflower soap stocks on nutrient digestibility, growth performance, and ruminal and blood metabolites of light fattening lambs. *Journal of Animal Science*. 92, 4086–4094.

Boila, R.J., Ingalls, J.R., 1992. Digestión en el rumen in situ y escape de materia seca, nitrógeno y aminoácidos en pasta de canola. *Canadian Journal of Animal Science*. 72, 891-901.

Botero Carrera, R.A., Mattos Velos, C., Sidney Knupp. L., de Souza Junior. A.H., Detmann. E., Paula Lana. R., 2012. Protein co-products and By-products of the biodiesel industry for ruminants feeding. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 42, 1202-1211.

Cabrera-Orozco, A., Jiménez-Martínez, C., and Dávila–Ortiz, G., 2013.

Soybean: Non-Nutritional Factors and Their Biological Functionality. INTECH Soybean- Bio-Active compounds. Editado por Hany A. El Shemy ISBN 978-953-51-0977-8.

Chitra, U., Vimala, V., Singh, U., 1995. Variability in phytic acid content and protein digestibility of grain legumes. *Plant Foods Human Nutrition*. 47, 163-172.

Choi, S.H., Gang, G.O., Sawyer, J.J., Johnson, B.J., Kim, K.H., Choi, C.W., 2013. Smith Fatty acid biosynthesis and lipogenic enzyme activities in subcutaneous adipose tissue of feedlot steers fed supplementary palm oil or soybean oil *Journal of Animal Science*. 91, 2091-2098.

Church, C.D., 1993. *EL RUMIANTE: Fisiología digestiva*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. 625 P.

CODESIN. 2013.

http://www.codesin.mx/wp-content/uploads/2015/03/compendio_jatropha.pdf

COMEXPALMA, 2014.

<http://www.comexpalma.org/2015/index.php/30-comexpalma/situograficas/156-importacion-nacional-de-aceites-y-grasas-2014>.

Cooke, R.F., Bohnert, D.W., Moriel, B.W., Hess, W., Mills, R.R., 2011. Effects of polyunsaturated fatty on ruminal in situ forage degradability, performance and physiological response of feeder cattle. *Journal of Animal Science*. 89, 3677-3689.

Da Silva, L.D., Pereira, O.G., Valadares Filho, S.C., Ribeiro, K.G., Valadares, R.F.D., Silva, T.C., Santos, S.A., 2015. Intake, digestibility, and nitrogen efficiency in holstein heifers fed treated *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) kernel cake. *Livestock Science*. 178, 100-107.

Delgado, D.C., González, R., Galindo, J., Dihigo, L.E., Cairo, J., Almeida, M., 2012. Efecto del aceite de coco en el consumo, digestión de nutrientes y producción de metano en ovinos alimentados con forraje y concentrado. *Revista cubana de ciencia agrícola*. 46, 381-384.

Ebrahimi, M., Rajion, M.A., Goh, Y.M., Sazili, A.Q., Schonewille, J.T., 2013. Effect of linseed oil dietary supplementation on fatty acid composition and gene expression in adipose tissue of growing goats. *BioMed Research International*. 11 pages.

Edrisi, S.A., Dubey, R.K., Tripathi, V., Bakshi, M., Srivastava, P., Jamil, S., Singh, H.B., Singh, N., Abhilash, P.C., 2015. *Jatropha curcas* L.: A crucified

plant waiting for resurgence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 41, 855-862.

El-Zelaky, O.A., Khalifa, E.I., Mohamed, A., Bahera, H., Mohamed, K., Hussein, A.M., 2011. Productive and reproductive performance of Rahmani male lambs fed rations containing *Jatropha* cake. *Egypt Journal Sheep Goat Science*. 6, 15–24.

Enemark, J.M.D. 2008. The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis: A review. *Veterinary Journal*. 176, 32-43.

FAO., 2014. División de Producción y Sanidad Animal. <http://www.fao.org/ag/aginfo/themes/es/meat/background.html>

Félix-Bernal, J.A., Angulo-Escalante, M.A., Estrada-Angulo, A., Heredia, J.B., Muy-Rangel, D., López-Soto, M.A., Barreras, A., Plascencia, A., 2014. Feeding value of nontoxic *Jatropha curcas* seed cake for partially replacing dry-rolled corn and soybean meal in lambs fed finishing diets. *Animal Feed Science and Technology* 198, 107-116.

Ferreira, E.M., Piresa, A.V., Susina, I., Gentila, R.S., Parentea, M.O.M., Nollia, C.P Meneghinia, R.C.M., Mendesa, C.Q., Ribeiro, C.V.D.M., 2014. Growth, feed intake, carcass characteristics, and meat fatty acid profile of lambs fed soybean oil partially replaced by fish oil blend. *Animal Feed Science and Technology*.187, 9-18.

Ferreira, E.M., Piresa, A.V., Susina, I., Biehl, M.V., Gentila, R.S., Parentea, M.O.M., Polizel, D.M., Ribeiro, C.V.D.M., de Almeida, E., 2015. Nutrient digestibility and ruminal fatty acid metabolism in lambs supplemented with soybean oil partially replaced by fish oil blend. *Animal Feed Science and Technology*. 216, 30-39.

Genética forestal., 2010. Ficha técnica genética forestal Puebla. <http://www.genforlandscaping.com.mx/blog/wp-content/uploads/2010/06/FICHA-TECNICA-Jatropha-curcas.pdf>.

Gil. 2013. Efecto de la inclusión de Aceite de *Jatropha curcas* no tóxica en el Alimento para Codorniz Japonesa (*coturnix coturnix japónica*) en Engorda. Tesis de Maestría.

Gilani, G.S., Cockell, K.A., Seperhr, E., 2005. Effects of antinutritional factor on protein digestibility and amino acid availability in foods. *Journal AOAC International*. 8, 967-87.

Gilani, G.S., Xiao, C.W., Cockell, K.A., 2012. Impact of Anitnutritional Factors in Food Proteins on the digestibility of Protein and the Bioavailebility of Amino Acids

and on Protein Quality. *British Journal of Nutrition*. 108, 315-332.

Goel, G., Makkar, H.P.S., Francis, G., Becker, K., 2007. Phorbol Esters: Structure, Biological Activity, and Toxicity in Animals. *International Journal of Toxicology*. 26, 279-288.

González, R., Juárez, J.F., Aceves, L.A., Rivera, B., Guerrero, A., 2015. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM*. 86, 25-37.

Gübitz, G.M., Mittelbach, M., Trabi, M., 1997. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Biorresource Technology*. 67, 73-82.

Hass, W., Strerk, H., Mittelbach, M., 2002. Novel 12 deoxy-16-hydroxyphorbol diesters isolates from the seed oil of *Jatropha curcas*. *Journal of Natural Products*. 65, 1434-1440.

Heller, J., 1996. *Physic Nut Jatropha curcas* L.: Promoting the Conservation and use of underutilized and neglected Crops Institute of Plant Genetic and Crop plant Research Gatersleben. *International plant Genetics Resource Institute, Roma*. ISBN 92-9043-278-0.

Juan, L., Ying, X., Lin, T., Fang, C., Yu, C., 2003. Cloning and expression of curcin, a ribosome-inactivating protein from the seeds of *Jatropha curcas*. *Acta Botanica Sinica*. 45, 858-863.

Katole, S., Saha, S.K., Sastry, V.R.B., Lade, M.H., Prakash, B., 2011. Intake, blood Metabolites and hormonal profile in sheep fed processed *Jatropha* meal. *Animal feed Science and Technology* 170: 21- 26.

Katole, S.B., Saha, S.K., Sastry, V.R.B., Mendiratte, S.K., 2013. Effects of processed *Jatropha* (*Jatropha curcas*) meal on carcass characteristics of adult rams. *Journal of Meat Science and Technology*. 1, 64-70.

King, A.J., He, W., Cuevas, J.A., Freudenberger, M.F., Ramiamanana, D., Graham, I.A., 2009. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. *Journal of Experimental Botany*. 60, 2897-2905.

Kronberg, E.J., Scholljegerdes, E.J., Murphy, R.E., Ward, T.D., Maddock T.D and Schauer, C.S., 2012. Treatment of flaxseed to reduce biohydrogenation of acid by ruminal microbes in sheep and cattle, and increase n-3 fatty acid concentrations in red meat. *Journal of Animal Science*. 90, 4618-4624.

Kumar, V., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2010. Detoxified *Jatropha curcas* Kernel meal as a dietary ptorei source: Growth performance, nutrient utilization and

digestive enzymes in common carp (*Cyprinus carpio* L) fingerlings. *Aquaculture Nutrition*. 1-14.

Kumar. A., Sharma, S., 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. *Industrial Crops Products*. 28, 1-10.

Lafargue-Pérez, F., Barrera-Vaillant, N., Assuncao-Nascimento, JC., Díaz-Velasquez. M., Rodriguez-Martínez, C., 2011. Caracterización fisicoquímica del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. *Tecnología Química*. Abril-Agosto. 162-165.

Li, Y., Chen, L., Lin, Y., Fang, Z.F., Che, L.Q., Xu, S.Y., Wu, D., 2015. Effects of replacing soybean meal with detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in the diet on growth performance and histopathological parameters of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 204, 18-27.

Liener, I.E., 1994. Implications of antinutritional components in soybean foods. *Critical Review Food Science Nutrition*. 34, 31-67.

Machmuller, A., 2006. Medium-chain fatty acids and their potential to reduce methanogenesis in domestic ruminants. *Agriculture. Ecosystem. Environment*. 112, 107-114.

Machuca, J., 2000. Characterization of the seed proteins of Velvet Bean (*Mucuna pruriens*) from Nigeria. *Food Chemistry*. 68, 421-427.

Maia, M.G.R., Chaudhary, L.C., Bestwick, C.S., Richardson, A.J., Mckain, N., Larson, R.I., Graham, I.A., Wallace, R.J., 2010. Toxicity of unsaturated fatty acids to the biohydrogenating ruminal bacterium, *Butyrivibrio fibrisolvens*. *BMC Microbiology*. 1-10.

Makkar, H.P.S., Aderibigbe, A.O., Becker, K., 1998. Comparative evaluation of non-toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food Chemistry*. 62, 207-215.

Makkar, H.P.S., Becker, K., 2009. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. *European Journal Lipid Science and Technology*. 111, 773–787.

Makkar, H.P.S., Becker, K., Sporer, F., Wink, M., 1997. Studies on Nutritive Potential and Toxic Constituents of Different Provenances of *Jatropha curcas* J. *Agriculture Food Chemistry*. 45, 3152-3157.

Makkar, H.P.S., Becker, K., 1999. Nutritional Studies on rats and fish (carp *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenience. *Plant Foods for Human Nutrition*. 53, 183-192.

Makkar, H.P.S., Martínez-Herrera, J., Becker, K., 2008. Variations in Seed Number per Fruit, Seed Physical Parameters and Contents of Oil, Protein and Phorbol Ester in Toxic and Non-Toxic Genotypes of *Jatropha curcas*. *Journal of Plant Sciences*. 3, 260-265.

Manso, T., Bodas, R., Castro, T., Jimeno, V., Mantecon, A.R., 2009. Animal performance and fatty acid composition of lambs fed with different vegetable oils. *Meat Science*. 83, 511-516.

Martinez-Herrera, J., Jimenez-Martínez, C., Martínez-Ayala, A., Garduño-Siciliano, L., Mora-Escobedo, R., Davila-Ortiz, G. Chamorro-Ceballos, g., Makkar, H., Francis, G., Becker, K., 2012. Evaluation of the nutritional quality of nontoxic kernel flour from *Jatropha curcas* L. in rats. *Journal of Food quality*. 35, 152-158.

Martínez-Herrera, J., Martínez, A.L., Makkar, H., Francis, G., Becker, K., 2010. Agroclimatic Conditions, Chemical and Nutritional Characterization of Different Provenances of *Jatropha curcas* L. From Mexico. *European Journal of Scientific Research*. 39, 396-407.

Martinez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Davila-Ortiz G, Becker K., 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*. 96, 80-89.

Martínez, A.I., Pérez, M., Pérez, L.M., Carrión, D., Gómez, A.G., 2012. Diet digestibility and production performance in dairy goats consuming plant oils. *Archivie Medicine Veterinary*. 44, 21-28.

Megumi, M.C., Rodriguez, J.M., Silva, L.P., Soares, J., Cuquetto, H., Texeira, M., 2011. Bio-detoxification of *Jatropha* seed cake and its use in animal feed. In: Fang, Z. (Ed.), *Biodiesel–Feedstocks, Productions and Applications Tech Publisher*. pp. 309–330.

Montgomery, S.P., Drouillard, J. S., Nagaraja, T. G., Titgemeyer, E.C., and Sindt J.J., 2007. Effects of supplemental fat source on nutrient digestion and ruminal fermentation in steers. *Journal Animal Science*. 86, 640-650.

Mosley, E.E., Powell, G.L., Riley, M.B., Jenkins, T.C., 2002. Microbial biohydrogenation of oleic acid to trans isomers in vitro. *Journal Lipid Research*. 43, 290-296.

Murray, R.K., Bender, D.A., Bothan, K.M., Kennelly, P.J., Rodwell, V.W., Weil, P.A., 2010. Harper. *Bioquímica ilustrada*, editorial Mc Graw Hill 28ª edición México. P 687.

Nabil, A., Eman., E.N., Eisharkawy, E., Elmotleb, A., 2011. Chemical and Pathological Evaluation of *Jatropha curcas* Seed Meal Toxicity With or Without Heat and Chemical Treatment. 5, 49-59.

Nagaraja, T.G., and Titgemeyer, E.C. 2007. Ruminant acidosis in beef cattle: The current microbiological and nutritional out-look. Journal of Dairy Science. 90, 17–38.

NOM-060-ZOO-1999. Especificaciones Zoosanitarias para la transformación de despojos animales y su empleo en la alimentación animal.

NOM-061-ZOO-1999, especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal.

Oliveira, P.B., Lima, P.M.T., Campeche, A., Mendoca, S., Laviola, B.G. McManus, C., Louvandini, H., 2014. Growth and carcass characteristics of santa Ines lambs fed diet supplemented with physic nut meal free of phorbol ester. Small Ruminant Research. 114, 20-25

Oliveira, M., Susin, I., Maia, E., Paduan, C., Shinkai, R., Vaz, A., Barreto, G. 2012. Intake, nutrient apparent digestibility and ruminal constituents of sheep fed diets with canola, sunflower or castor oils. Revista Brasileira de Zootecnia. 41, 2350-2356.

Padilla, J.V., Cotina, H.S., Vela, M.P., 2011. Proyecto de biocombustibles en Chiapas: Experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. Vol XIX Num 38.

Peralta-Flores, L., Gallegos-Tintoré, S., Solorza_Feria, J., Dávila-Ortiz, G., Chei_Guerrero, L., Martínez_Ayala, A., 2012. Biochemical evaluation of protein fractions from physic nut (*Jatropha curcas* L.). Grasas y Aceites. 63, 253-259.

Pinzi, S., Garcia, I.L., Lopez-Gimenez, F.J., Luque de Castro, M.D., Dorado, G., Dorado, M.P., 2009. The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications. Energy Fuels 23. 2325–2341.

Plascencia, A., Mendoza, G.D., Vazquez, C., 2004. Influence of levels of fat supplementation on bile flow and fatty acid digestion in cattle. Journal of Animal Sci. 3, 763–768.

Plascencia. A., Mendoza, G.D., Vásquez, C., Zinn, RA., 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. Journal of Animal Science. 81, 2653- 2659.

Potter, B.V.L., 1990. Recent advances in the chemistry and biochemistry of inositol phosphates of biological interest. Natural Product Reports. 7, 1-24.

Qin, W., Ming-Xing, H., Ying, x., Xin-Shen, Z., Fang, C., 2005. Expression of a ribosome inactivating protein (curcin 2) in *Jatropha curcas* is induced by stress. *Journal of Biosciences*. 30, 351-357.

Rakshit, K.D., Darukeshwara, J., Raj, R.K., Narasimhamurthy, K., Saibaba, P., Bhagya, S., 2008. Toxicity studies of detoxified *Jatropha* meal (*Jatropha curcas*) in rats. *Food and Chemical Toxicology*. 46, 3621-3625.

Ravindran, V., Cabahug, S., Ravindran, G., 1999. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of foodstuffs for broilers. *Poultry Science*. 78, 699-706.

Ruiz, M.G., Gonzalez, A., Ortiz, T., Flores, L., 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Ed. INIFAP. Vol. 3.

Saetae, D., Suntornsuk, W., 2010. Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* seed cake. *International Journal Molecular Science*. 12, 66-77.

SAGARPA., 2015. Anuario Estadístico.

Sanz Sampelayo, M.R., Chilliard, Y., Schmidely, P., and Boza, J., 2007. Influence of type of diet on the constituents of goat and shee milk. *Small Ruminant Research*. 68, 42-63.

Selje, A.N, Makkar, H.P.S., Hoffmann, E.M., Francis, G., and Becker, K., 2007. Quantitative and qualitative analyses of seed storage proteins from toxic and non-toxic varieties of *Jatropha curcas* L. *International Symposium on Energy and Protein Metabolism*. Publication No.124, Vichy, France. pp. 625.

Shingfield, K.J., Bonnet, M., Scollan, N.D., 2013. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant derived foods. *Animal*. 7, 132-162.

SIAP., 2014 Sistema de información agroalimentaria y Pesquera, siap.gob.mx/ganaderia-producción.

Siddhuraju, P., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2002. The effect of ionizing radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. *Food Chemistry*. 78, 187-205.

Sosa-Segura, M.P., Oomah, B.D., Drover, J.C.G., Heredia, J.B., Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J.B., Salazar-Villa, E., Soto-Landeros, F., Angulo-Escalante, M.A., 2014. Physical and Chemical Characterization of Three Non-Toxic Oilseeds from the *Jatropha* Genus. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2, 56-61.

Souza, A.D.V., Fávoro, S.P., Ítavo, L.C.V., Roscoe, R., 2009. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-mansão, nabo-forrageiro e crambe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44, 1328–1335.

Subroto, E., Manurung, R., Heeres, H.J., Broekhuis, A.A., 2015. Mechanical extraction of oil from *Jatropha curcas* L. Kernel: Effect of processing parameters. *Industrial Crops and Products*. 63, 303-310.

Szakiel, A., Paczkowski, C., Henry, M., 2011. Influence of environmental abiotic factor on the content of saponins in plants. *Phytochemistry reviews*. 10, 471-491.

Toral, P.G., Belenguer, A., Frutos, P., Hervás, G., 2009. Effect of the supplementation of a high-concentrate diet with Sunflower and fish oils on ruminal fermentation in sheep. *Small Ruminant Research*. 81, 119-125.

Vasconcelos, J.T., and Galyean, M.L., 2007. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists. The 2007 Texas Tech University survey. *J. Anim. Sci.* 85, 2772-2781.

Wallace, R.J., McKain, N., Shingfield, K.J., Deillard, E., 2007. Isomers of conjugated linoleic acids are synthesized via different mechanisms in ruminal digesta and bacteria. *Journal Lipid Research*. 48, 2247–2254.

Wang, H., Chen, Y., Zhao, Yi., Liu, H., Liu, J., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2011. Effects of replacing soybean meal by detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in the diet of growing pigs on their growth, serum biochemical parameters and visceral organs. *Animal Feed Science and Technology* 170:141-146.

Widiyastuti, T., Sutardi, T.R., Setyobudi, R.H., 2015. Evaluation of Protein Concentrate from *Jatropha* Seed Cake as a Soybean Meal Substitution in the Rabbit Feed. *Energy Procedia*. 65, 362-367.

Yanke, L.J., Bae, H.D., Selinger, L.B., Cheng, K.J., 1998. Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria. *Microbiology*, 144, 1565-1573.

Zamarripa-Colmenero, A., Martínez- Herrera, J., De la piedra-Constantino, R., Oliviera-De los Santos, A., 2008. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas*. *INIFAP*, 30.

Zinn, R.A., Plascencia, A., 2007. Feed value of supplemental fats used in feedlot cattle diets. *Veterinary Clinic Food Animal*. 23, 247-268.

CAPÍTULO III: FEEDING VALUE OF NONTOXIC *Jatropha curcas* SEED CAKE FOR PARTIALLY REPLACING DRY-ROLLED CORN AND SOYBEAN MEAL IN LAMBS FED FINISHING DIETS

J.A. Félix-Bernal ^a, M.A. Angulo-Escalante ^a, A. Estrada-Angulo ^b, J.B. Heredia ^a, D. Muy-Rangel ^a, M.A. López-Soto ^c, A. Barreras ^c, A. Plascencia ^c.

^a Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Culiacán, Sinaloa, México.

^b Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán 1084, Sinaloa, México.

^c Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21100, Baja California, México.

Correspondence autor: Alejandro Plascencia J. e-mail: aplas_99@yahoo.com. Plascencia@uabc.edu.mx. Tel.: +52 686 5651336, fax +52 686 5636907.

Artículo publicado: Animal Feed Science and Technology, ANIFEE-13171: No. of pages 10.

Abstract

The objective of this experiment was to determine the effects of partial replacement of dietary dry-rolled corn (DRC) and soybean meal (SBM) in isonitrogenous diets with different levels (0, 70, 140, and 210 g/kg) of seed cake obtained from a nontoxic variety of *Jatropha curcas* on growth performance, dietary energetics, plasma metabolites, carcass characteristics, and visceral mass in 32 Pelibuey × Katahdin lambs. *Jatropha* seed cake (JSC) was obtained by mechanically pressing whole seed and contained 262 g/kg crude protein (CP), 473 g/kg neutral detergent fiber (aNDFom), 402 g/kg acid detergent fiber (ADF), 7 g/kg starch, 60 g/kg ether extract, and 938 g/kg of organic matter. The JSC substitution decreased linearly ($P=0.02$) final weight and average daily gain but did not affect ($P=0.47$) dry matter intake (DMI), thus efficiency of gain was decreased ($P<0.01$). In all treatments, the concentration of hemoglobin, haematocrit, glucose, creatinine, urea, and lipase was within normal ranges for healthy ruminants. Inclusion of JSC in diet did not affect dressing percentage and non-carcass fat deposition, but decreased ($P=0.03$) hot carcass weight and fat depth. As level of JSC inclusion increased, the muscle and fat composition of shoulder (as g/100 g of shoulder weight) was affected, muscle increased ($P<0.01$) and fat decreased ($P=0.02$). Replacing corn and SBM with JSC did not affect empty body weight (EBW, as percentage of full weight) or the organ weights as a proportion of EBW (g/kg EBW). Increased JSC levels in the diet tended to increase visceral fat ($P=0.06$). The net energy (NE) value of JSC corresponds closely to its chemical composition (~ 7.74 MJ/kg NEm /kg), this NE value decreased linearly as the inclusion level of JSC increased as result of the removal of starch instead of NDF in diets and by the possible associative effects of JSC with other components of the diet. The changes of energy level and energy source (NDF and lipids instead of starch) by the replacement of corn and SBM by JSC, can affect the deposition of body fat. Based on DMI and performance observed in this study, nontoxic JSC is a suitable substitute for a portion of the DRC and SBM in a finishing diet; however, at high levels, it tends to decrease growth performance of lambs.

1.0. Introduction

Jatropha curcas seed is rich in protein and oil. The primary use of *J. curcas* is for oil extraction from its seed which is used to produce biodiesel. The raw seed cake produced after oil extraction has a variable nutrient composition, but it is considered a good source of protein, lipids and fiber (Kumar et al., 2012; Phengnuam and Suntornsuk, 2013; Saha and Ghosh, 2013). However, because the seed cake from *J. curcas* is high in anti-nutritional components and toxins (i.e., trypsin inhibitors and phenolic compounds), it has not been considered suitable as a livestock feed (Martínez-Herrera et al., 2006; Makkar and Baker, 1999). Various chemical and physical detoxification methods are used with different results; however, the complicated nature of the process discourages its application by small-scale and local farmers in developing economies of subtropical and tropical regions (Belewu et al., 2010).

In Mexico, there is increased production of a nontoxic genotype of *J. curcas*. Compared to the toxic genotype, the nontoxic *Jatropha* seed has similar protein, fiber, and oil concentration but contain no or a very low concentration of toxic components (Makkar et al., 1998). This condition is advantageous since the seed cake can be used without any prior treatment for animal feed without a health risk to livestock. *J. curcas* seed cake (JSC) has a potential to complement and partially substitute for corn and soybean meal (SBM) as a protein and energy source in ruminant diets. At present, the information regarding to the feeding value of seed cake of non-toxic *J. curcas* as feedstuff in finishing diets to lambs is scarce (Megumi et al., 2011; Oliveira et al., 2013), and impact of high levels of inclusion of JSC on growth performance and dietary energetics has not been assessed.

Therefore, the objective of this experiment was to evaluate the feeding value of a seed cake product obtained from the Mexican nontoxic genotype *J. curcas* as a partial replacement for corn and soybean meal in a finishing diet fed to lambs.

2.0. Materials and Methods

2.1. Diets, animals and experimental design

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in the Culiacán, México (24°46'13" N and 107°21'14" W). Culiacán is about 55m above sea level, and has a tropical climate. All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally approved techniques for animal use and care. Thirty-two intact male lambs (Pelibuey × Katahdin, 31 ± 3 kg BW) were used, three weeks before the experiment started lambs were treated for endoparasites (Tasasel® 5%, Fort Dodge, Animal Health, México), and injected with 1 × 10⁶ IU vitamin A (Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México). Upon initiation of the experiment, lambs were weighed individually before the morning meal (electronic scale; TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY electronics Inc., Houston, TX, USA) and were equally grouped by weight into four uniform weight groups and each group assigned to 4-pen blocks (two lambs per pen). The 16 pens used in the study were 6 m² with overhead shade; automatic waterers and 1 m fence-line feed bunks. During a 21-d adaptation period all lambs received the basal diet (no JSC supplementation, Table 1). Dietary treatments consisted of the replacement of dry-rolled corn (DRC) and SBM in basal diet by JSC as follows: (1) no JCS, basal diet contained 550 g/kg of corn and 105 g/kg of SBM (JSC0); (2) 70 g/kg JCS replacing 35 g/kg of corn and 35 g/kg of SBM (JSC7); (3) 140 g/kg JSC replacing 70 g/kg corn and 70 g/kg SBM (JSC14), and (4) 210 g/kg JCS replacing 105 g/kg corn and 105 g/kg SBM (JCS21). Experimental diets and their chemical compositions are shown in Table 1. White corn was used as a source of grain in the form of a commercial blend obtained from Sinaloa, Mexico. Corn was prepared by passing whole corn through rollers (46 cm × 61 cm rolls, 5.5 corrugations/cm; Memco, Mills Rolls, Mill Engineering & Machinery Co., Oklahoma, CA) so that the kernels were broken into an

approximate bulk density of 0.62 kg/L. The source of the *J. curcas* seed used in this study was a Mexican variety of non-toxic genotype harvested in San Ignacio, located in Sinaloa, México (23° 56' 21" N 106° 25' 39 W). The JSC was obtained by mechanically pressing the seed, without shell (German screw press type Komet DD 85 G; IBG Monforts, Oekototec GmbH & Co. KG, An der Waldesruh 23 Mönchengladbach Nordrhein-Westfalen, Germany). Seed cake was ground in a hammer mill (Bear Cat #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 1.91 cm screen and dried at 110 °C for 1 h. The SBM used was a standard US soybean meal obtained by solvent extraction (Ceres Commodities LCC, Newport, KY). The forage source of the diet was Sudan grass hay, which 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 JSC included in the diets and the DRC and SBM replaced are shown in the footnote of Table 1. Dietary treatments were randomly assigned to pens within blocks. The experiment lasted 49 days and lambs were weighed at the beginning of the trial and every 14 days thereafter and in the end of the experiment. The initial BW 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 (feed, but not drinking water was withdrawn) for 18 h before recording the final BW. Lambs were allowed ad libitum access to dietary treatments. Daily feed allotments to each pen were adjusted to allow minimal (<5 g/100 g of offered feed) feed refusals in the feed bunk. The amounts of feed offered and feed refused were weighed daily. Lambs were provided fresh feed twice daily at 0800 and 1400 h in a 40:60 proportion (as fed basis). Refusals were collected and weighed prior to the morning feed and feed intake was determined on a daily basis.

2.2. Sample analysis

The bulk density of DRC, SBM and JSC was measured using a standard bushel tester (OHAUS grain scale Model 8324915, Parsipani, NJ, USA).

The JSC, corn, and SBM used in the trial, and the 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 \times 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, residuals direct sulphuric acid method; method 973.18; AOAC, 2000); ether extract (method 920.39; AOAC, 2000); and starch (Zinn, 1990). Additionally, phorbol esters and trypsin inhibitors were determined in JSC according to the procedures described by Makkar et al. (2007). Feed and refusal samples were collected daily for DM analysis, which involved oven-drying the samples at 105°C until no further weights loss occurred (method 930.15; AOAC, 2000).

2.3. Calculations

The estimations of dietary energetic and expected DMI were performed based on the averages of estimated initial SBW and observed final SBW. Average daily gain was computed by subtracting the initial SBW from the final BW and dividing by the number of days on feed. The efficiency of BW gain was computed by dividing ADG by the daily DMI.

The estimation of expected DMI was performed based on observed ADG and average SBW according to the following equation: expected DMI, kg/d = (EM/NE_m) + (EG/NE_g), where EM (energy required for maintenance, MJ/d =

[4.184 × (0.056 × SBW^{0.75})] (NRC, 1985), EG (energy gain, MJ/d) = [4.184 × (0.276 × ADG × SBW^{0.75})] (NRC, 1985), NEm (energy of maintenance) and NEg (energy of gain) are 7.74 and 5.15; 7.66 and 5.06; 7.57 and 4.98, and 7.49 and 4.95 MJ/kg for control, JSC7, JSC14 and JSC21, respectively [derived from tabular values based on the ingredient composition (Table 1) of the experimental diets; NRC (1985) with the exception of the net energy (NE) values of JSC, which was assigned NEm and NEg values of 7.74 and 5.15 MJ/kg, respectively derived from the chemical analyses determined in our laboratory according to the equation: NEm, Mcal/kg = 0.255ADF + 0.0325CP + 0.0704EE + 0.034NFE - 1.18; R² = 0.97, N = 36, proposed by Zinn and Plascencia (1993)], and SBW represent full body weight × 0.96 (Cannas et al., 2004). The coefficient (0.276) was estimated assuming a mature weight of 113 kg for Pelibuey × Katahdin male lambs (Estrada-Angulo et al., 2013). Dietary NE was estimated by means of the quadratic formula:

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}$$

where x = NEm, a = -0.41EM, b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG, and c = -0.877 DMI (Zinn and Shen, 1998). The estimated net energy of JSC was performed given that the NEm values of DRC and soybean meal are 2.24 and 2.06 Mcal/kg, respectively (NRC, 1985), so the comparative NEm values for the JSC in each supplemented diet were estimated as follows:

$$\text{NEm, MJ/kg JCS7} = (((0.8397 \times 2.24) + (0.1603 \times 2.06)) - ((1.86 - 1.84)/0.655)) - (((0.7863 \times 2.24) + (0.1069 \times 2.06))) / 0.1069$$

$$\text{NEm, MJ/kg JCS14} = (((0.8397 \times 2.24) + (0.1603 \times 2.06)) - ((1.86 - 1.81)/0.655)) - (((0.7328 \times 2.24) + (0.0534 \times 2.06))) / 0.2137$$

$$\text{NEm, MJ/kg JCS21} = (((0.8397 \times 2.24) + (0.1603 \times 2.06)) - ((1.86 - 1.71)/0.655)) - (((0.6794 \times 2.24) + (0.0 \times 2.06))) / 0.3206$$

The constants 0.8397 and 0.1603 represent the proportion of DRC and SBM in the basal diet, while the constants 2.24 and 2.06 represent the NEm of corn and SBM replaced by JSC; the constant 1.86 represents the ENm observed to basal diet; the constant 0.655 represents the total percentage of corn and SBM in basal diet; the constants 0.1069, 0.2137, and 0.3206 correspond to the proportion of JCS which replaced corn and SBM in the basal diet; and finally, the constants 0.7863 and 0.1069; 0.7328 and 0.0534, and 0.3794 and 0.00 represent the proportion of DRC and SBM in the JCS replaced diets.

2.4. Blood Metabolites

Approximately 6 mL of blood was collected from the jugular vein of each individual in vacuum tubes (Vacumed[®] Lithium Heparin and Vacumed[®]) on day 49, 1 h before the morning meal. Hemoglobin and hematocrit were determined in fresh samples. Hemoglobin was determined using the cyanmethemoglobin method described by Crosby et al. (1954). Hematocrit was determined according to the micromethod described by McGovern et al. (1955). The heparinized samples were immediately centrifuged for 15 min at 3000 × g at a temperature of 5 °C, and plasma was stored at -20 °C until analysis of glucose, creatinine, urea and lipase. Plasma metabolites were quantified by spectrophotometry (Varian Cary 1E UV-spectrophotometer, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) using a Diagnostic commercial kits (Bio Systems, México, Zapopan Jalisco).

2.5. Carcass and visceral mass data

All lambs were slaughtered on the same day. After sacrifice, lambs were skinned, and the gastrointestinal organs were separated and weighed. Carcasses (with kidneys and internal fat included) were chilled in a cooler at -2 °C to 1 °C for 48 h, then the following measurements were obtained: (1) fat thickness perpendicular to the m. longissimus thoracis (LM), measured over the

center of the ribeye between the 12th and 13th rib; (2) LM surface area, measure using a grid reading of the cross-sectional area of the ribeye between 12th and 13th rib, and (3) kidney, pelvic and heart fat (KPH). The KPH was removed manually from the carcass, and then weighed and reported as a percentage of the cold carcass weight (USDA, 1982). Each carcass was split along the vertebrae into two halves. Shoulders were obtained from the forequarter. The weights of shoulder were subsequently recorded. The shoulder composition was assessed using physical dissection by the procedure described by Luaces et al. (2008).

All tissue weights were reported on a fresh tissue basis. Previous data suggests that there is very little variation among fresh and dry weights for visceral organs (Neville et al., 2008). Organ mass was expressed as grams of fresh tissue per kilogram of final EBW. Final EBW represents the final full BW minus the total digesta weight. Full visceral mass was calculated by the summation of all visceral components (stomach complex + small intestine + large intestine + liver + lungs + heart), including digesta. The stomach complex was calculated as the digesta-free sum of the weights of the rumen, reticulum, omasum and abomasum.

2.6. Statistical analysis

Performance (DMI, gain, gain efficiency, observed dietary NE, observed-to-expected dietary NE ratio, and observed-to-expected DMI ratio) and carcass data were analyzed as a randomized complete block design considered the pen as the experimental unit. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used to analyze the variables, with the final hot carcass weight (HCW) as a covariate when it represented a significant ($P \leq 0.05$) source of variation in the carcass data.

Shoulder composition was analyzed as a general complete block design, including the effect of block \times treatment interaction, together with the effect of

CCW as covariate. When the covariate represented a non-significant ($P > 0.05$) source of variation it was not included into the model. The analysis was realized using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Visceral organ mass data were analyzed as a general complete block design, including the effect of block \times treatment interaction. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used to analyze the variables.

Treatment effects were tested for linear, quadratic and cubic components of the JSC supplementation level. 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 .

3.0 Results

Cubic effects were not significant. Thus, the P-values for those components are not presented in.

3.1. Chemical composition

The JSC obtained was free (non-detected) of phorbol esters and, as a result of heat treatment (110 °C for 1 h), the trypsin inhibitors were reduced 92% (21.07 down to 1.68 mg/g). Due to the differences in chemical composition between JSC and the DRC, and SBM it replaced (Table 2), the aNDFom and ether extracts increased (from 207 to 270, and 29 to 49 g/kg for aNDFom and ether extract, respectively) and starch slightly declined (from 40 to 34 g/kg) as the level of JSC increased (Table 1).

3.2. Treatments effects on growth performance and estimated energy values of JCS

Based on observed DMI, the net intake of JSC/lamb/day were 81, 162, and 238 g for the 70, 140, and 210 g/kg-inclusion treatments (JSC7, JSC14, and JSC21), respectively. The JSC substitution linearly decreased ($P < 0.02$) final weight and ADG but did not affect DMI (Table 2). Thus, gain efficiency, dietary energetics, and observed-to-expected DMI decreased ($P < 0.01$) as JSC level in the diet increased. The estimated energy value of JSC at inclusion of 70g/kg of DM was 7.74MJ ENm/kg. This feeding value decreased as the inclusion level of JSC increased. The estimated net energy of maintenances of JSC at the 140 and 210 g/kg levels were 7.45 and 6.03 MJ/kg, respectively.

3.3. Treatments effects on blood metabolite profiles

Inclusion of JSC linearly increased ($P=0.01$) serum creatinine concentration, and tended to linearly decrease ($P=0.09$) serum lipase (Table 3). However, these values as well as that of other blood metabolites measured were within a normal range.

3.4. Treatments effects on carcass traits and visceral organ mass

The JSC substitution did not affect dressing percentage or KPH, but linearly decreased ($P<0.01$) hot carcass weight and fat thickness (Table 4). Increasing JSC level in diets linearly affected the shoulder composition. As JSC increased, the proportion of muscle increased ($P<0.01$), and the proportion of fat decreased ($P=0.02$). Replacing corn and SBM with JSC did not affect ($P=0.23$) EBW. There were no treatment effects ($P=0.24$) on organ weights as a proportion of EBW (g/kg EBW, Table 5). However, increasing JSC inclusion level tended to linearly increase visceral fat ($P=0.06$).

4.0 Discussions

4.1. Physical and chemical characteristics of *Jatropha* seed cake and corn and soybean meal

The absence of phorbol esters and low levels (1.68 mg/g) of the trypsin inhibitors in the JSC used in the present experiment is consistent with findings of Makkar et al. (1998) and Martínez-Herrera et al. (2006), who reported very low or non- detectable levels of phorbol esters in nontoxic varieties of Mexican *Jatropha*. Makkar and Becker (1999) showed that heat labile anti-nutrients, such as protease inhibitors, are easily inactivated by heating.

The bulk densities of JSC and SBM obtained here correspond closely to previously reported values (Molenda et al., 2002; Kavalek et al., 2013). Bulk density of white DRC was in close agreement with the targeted value of 0.62 kg/L.

The nutrient composition of white corn, SBM and JSC used in this experiment was consistent with previous reports which used the same methods of determination (Makkar et al., 1998; Foster et al., 2009; Plascencia et al., 2011). Due to differences in seed variety, and oil extraction method, the chemical composition of JSC varies mainly in CP and oil (Botero et al., 2012; Phengnuam and Suntornsuk, 2013). The JSC used in this experiment contained a slightly higher CP (26.25 g vs. 23.45 g PC/100 g) and a slightly lower lipid concentration (6.01 g vs. 7.93 g ether extract/100 g) than previously reported (Kumar et al., 2012; Saha and Ghosh, 2013).

4.2. Dry matter intake, growth performance, and dietary energetics

In ruminants, limited information is available related to the effects of supplementation of nontoxic JSC on performance and carcass characteristics.

Similar to our results, Oliveira et al. (2013) did not report an effect on feed intake in Santa Inês lambs when a nontoxic JSC partially replacing DRC and SBM at levels of 100–300 g/kg in a concentrate fed at the rate of 1.2 g/100 g of LW. In accordance with the average weight of lambs and level of feed intake, the net daily intakes of JSC were 29, 58, and 87 g/lamb. Similarly, El-Zelaky et al. (2011) reported that the partial substitution of SBM with 39 g of nontoxic JSC (total of SBM that was included in basal diet was 55 g/kg of diet) did not affect DMI in Rhamaini lambs. The approximate amount of JSC consumed daily by lambs in their experiment was 50 g. In contrast, Megumi et al. (2011) reported linear increases of DMI of female goats when the diets were supplemented with 0, 70, 140, or 200 g/kg DM (net daily intakes of JSC were 50, 116, and 178 g/d, respectively) of bio-detoxified JSC substituted for corn and SBM. They attributed the increases of DMI to the lower energy density in JSC-supplemented diets. The energy density of diets fed in the present study also decreased with increasing JSC inclusion. Nevertheless, feeding 81–238 g/d of JSC (70–210 g/kg supplemental JSC, DM basis) did not affect DMI. The basis for this effect is not certain. The DMI of finishing diets varies depending on net energy (NE) concentration (NRC, 2007) and NDF concentration (Galyean and Defoor, 2003). Energy density of the basal diet in the present experiment (Table 1) was slightly below the threshold of 7.95 MJ NEm /kg diet DM that is expected to limit dry matter intake (Zinn and Plascencia, 1996). On the other hand, due to NDF content of JSC it could expect that increased levels of JSC substitution would decrease DMI. The NDF concentration of the diet containing the highest level of JSC (JSC21) was 23% greater (207 g/kg vs. 270 g/kg) than that of the control, non-supplemented diet. However, based on in vitro studies (Botero et al., 2012), JSC NDF is readily digestible (ruminal NDF degradability = 0.62). Thus, it is not expected that treatment effects on dietary NDF concentration, per se, would affect DMI.

Oliveira et al. (2013) reported that nontoxic JSC is similar to a concentrate composed of 730 g/kg corn and 270 g/kg SBM when 160 g of corn and 140 g of SBM were replaced by 300 g of JSC/kg of the concentrate that was fed at the

rate of 290 g of concentrate/lamb/day, indicating that the feeding value of JSC was similar to the proportion of corn and SBM replaced (approximately 8.83MJ/kg ENm) in these diets. Unfortunately, the authors did not report the chemical composition of JSC used in their experiment. The NEm (MJ/kg) of the ingredients can be estimated from chemical analyses using the following equation (adapted from NRC, 1984 using all feedstuffs with an NEm \geq 1.70 and for which all pertinent analyses are tabulated excluding fat, which was assigned a NEm value of 6.00; R² = 0.97, N = 36) (Zinn and Plascencia, 1993): $4.184 \times (0.255ADF + 0.0325CP + 0.0704EE + 0.034NFE - 1.18)$, where nutrient concentration are expressed as g/100 g, EE is ether extract and NFE (nitrogen free extract) is equivalent to $100 - (ADF + CP + EE + \text{ash})$. By applying the above equation to the chemical composition of JSC previously reported (Botero et al., 2012; Megumi et al., 2011), the energy value of JSC ranges from 7.87 to 9.62 MJ/kg. However, there are some aspects that should be considered when trying to determine the value of JSC compared to ingredients it replaces. Given the nature of the treatments used in some studies, the results obtained for the nutritional value of JSC may be largely masked by functional aspects (interactions with other components of diet) and by the method of substitution (replacing important quantities of starch with increasing levels of fiber); however, the greatest factor that apparently affects its energy value is the highly variable chemical composition of JSC (i.e., proportions of CP, NDF, and fat). In this experiment, the NE content of the JSC was estimated based on observed performance and the estimated energetic relations of lambs that were fed isonitrogenous diets with different JSC levels. Therefore, it is expected that if there are differences in energy levels between diets, this is a result of the difference in energy content of JSC. Based on observed performances, the estimated NE of JSC for 70, 140, and 210 g/kg supplementation levels were 90, 86, and 70%, respectively, of the relative NE values of SBM. The average NEm and NEg values of JSC at the 70 g/kg-inclusion level were in close agreement (0.99) with its chemical composition (Table 2). Furthermore, the expected-to-observed dietary NE and DMI ratio was 0.99 for the JSC7 and JSC14

treatments but increased ($P < 0.01$) from 1.00 to 1.07 as the level of JSC increased to 210 g/kg DM. The estimation of dietary net energy and the ratio of observed-to-expected DMI revealed differences on the efficiency of energy utilization of the diet itself. The increases in observed-to-expected DMI and reductions in dietary NE at high levels of JSC reveal that supplementation at that level had negative effects, independently of its chemical composition. The basis for the differences between levels of supplementation in the estimated NE value of JSC is unclear. Based on DMI and blood profile analyses, there was no evidence of health alteration of lambs when fed high levels of JSC. It has been reported that, compared to controls, intakes of 18–45 g/lamb/day of the toxic JSC (high in phorbol esters) decreased DMI by 30–79% (Belewu et al., 2010), confirming the negative effect on DMI when the toxic genotype of *Jatropha* is fed, even for lower levels of supplementation as used in the present study. In addition, decreases in haematocrit and hemoglobin and increases in creatinine have been reported in lambs fed with toxic *Jatropha* (Abdel Gadir et al., 2003). The reduction of growth performance of lambs fed with increasing levels of JSC in this experiment can be due to possible negative effects of JCS on nutrient utilization, or possible, negative associative effects of JSC on other components of the diet. A reduction of 31% of total tract digestibility of crude protein of the diet was reported in goats that were daily fed with a concentrate containing 199 g/kg of detoxified JSC (Megumi et al., 2011). Botero et al. (2012) indicated that intestinal protein digestibility of RUP of JSC was around 0.60 whereas intestinal protein digestibility of SBM was near 0.95.

4.3. Blood metabolites profile

As mentioned previously, except for differences in daily weight gain, there was no evidence of health alteration of lambs fed high levels of JSC. Even though serum creatinine linearly increased ($P = 0.01$) with level of JSC substitution in the diet, serum levels were within the normal range (Blood et al., 1983). Similar results were reported by Megumi et al. (2011) in their evaluation of comparable

levels of detoxified JSC in female alpine goats. The absence of abnormal blood parameters with increased JSC supplementation levels indicates that liver and pancreatic functions were not altered in lambs.

4.4. Carcass traits and visceral organ mass

Absence of effects on hot carcass weight (HCW) has been reported previously in lambs with daily intakes up to 87 g of detoxified JSC (Oliveira et al., 2013). When there are no differences in dressing percentage between treatments, differences in carcass weight are primarily due to differences in the rate of daily weight gain (Ebrahimi et al., 2007). In this experiment, differences in weight gain accounted for most of the reduction in HCW through increased supplementation of JSC.

Changes in carcass characteristics and chemical composition of lamb carcasses are affected mainly by energy intake and, to a lesser extent, protein intake (Mahgoub et al., 2000; Ebrahimi et al., 2007). Typically, as dietary energy intake, and hence, daily weight gain increases, carcass weight, KHP and FT also increase. With low-energy diets (~7.95 MJ NEm /kg), increases in dietary crude protein levels beyond 145 g/kg DM have also promoted increased FT, again associated with increased weight gain (Ríos-Rincón et al., 2014). Thus, in this experiment, a decrease in FT is an expected consequence of treatment effects on carcass weight. Subcutaneous fat deposition is considered a good predictor of carcass leanness (Beauchemin et al., 1995), and this is in agreement with the increased proportion of muscle in shoulder chemical composition of lambs fed high levels of JSC. Decreases in relative proportion of fat with increases in protein content in LM of lambs fed low-energy diets have been previously reported (Mahgoub et al., 2000; Ebrahimi et al., 2007). Even though the replacement of DRC and SBM by JSC decreased the energy value of diet, the visceral fat tended ($P=0.06$) to be greater with increasing levels of JSC. The reason for the responses in carcass fat deposition in the lambs that

received JSC treatments is not clear but may be related to energy partitioning of diets in which DRC and SBM were replaced with JSC. Increased intakes of dietary fat increased visceral fat (Zinn, 1988; Plascencia et al., 1999); lambs fed JSC21 consumed more lipids (56 g/day vs. 34 g/day) compared to controls. On the other hand, it seems calories from JSC affect the energy partitioning and site of fat deposition differently as a result of amount of inclusion and the profile of ingredients replaced.

In lambs, there is very limited information related to the effects of supplementation of JSC on organ weights. Consistent the present study, previous work with rats (Berenchtein et al., 2013) and pigs (Wang et al., 2011) showed that liver and heart weights (gram per kilogram of body weight) did not differ when JSC was included at levels up to 100 g/kg of diets. It appears that liver weight responds mainly to energy-yielding nutrients and amino acids (Sainz and Bentley, 1997). In contrast, the total mass of the forestomach responds to diet type rather than intake, increasing with dietary fiber content (Sun et al., 1994). The main factor influencing intestinal weight seems to be dietary fiber (Sainz and Bentley, 1997), and protein intake (Johnson et al., 1990). As mentioned previously, JSC is a source of readily digestible non-forage fiber (Botero et al., 2012). The diets in this experiment were formulated to be isonitrogenous, with a maximum expected difference in NEm concentration of 4% (7.74 vs. 7.45 Mcal/kg NEm, Table 1) between control and JSC21 diet.

Conclusions

It is concluded that in finishing diets for lambs, the net energy value of nontoxic JSC supplemented at the rate of 140 g/kg is in close agreement with values estimated based on its chemical composition. However, at greater levels of inclusion its energy value linearly decreases. Changes in dietary energy level, and in energy source (fat and NDF vs. starch) in the diet as a result of corn and SBM replacement with JSC can affect deposition of body fat. At high levels of inclusion, it tended to increase protein content but decreased carcass fat content and HCW were decreased. Based on DMI and performance observed in this study, JSC is a suitable substitute at moderate levels for a portion of the DRC and SBM in finishing diets. However, further research is required in order to determine more accurately the associative effects of JSC when included in finishing diets to ruminants.

Acknowledgment

This experiment was financed by Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México (Project code: #146409).

Table 1. Ingredients and composition of experimental diets fed to lambs

Items	<i>Jatropha</i> seed cake (g/kg)			
	0	70	140	210
Ingredient composition (g/kg of dry matter)				
Dry-rolled corn ^a	550.0	515.0	480.0	445.0
<i>Jatropha curcas</i> cake ^b	0.0	70.0	140.0	210.0
Soybean meal ^c	105.0	70.0	35.0	0.00
Sudan grass hay	200.0	200.0	200.0	200.0
Molasses cane	100.0	100.0	100.0	100.0
Trace mineral salt ^d	25.0	25.0	25.0	25.0
Zeolite	20.0	20.0	20.0	20.0
Chemical composition ^e (g/kg, dry matter basis)				
Crude protein	146.6	146.5	146.3	146.1
Ether extract	29.1	36.0	42.8	49.5
aNDFom	207.0	228.1	249.2	270.3
Starch	403.6	381.2	358.8	336.4
Calculated net energy ^g (MJ/kg)				
Maintenance	7.74	7.66	7.57	7.49
Gain	5.15	5.06	4.98	4.94

Composition and density of dry-rolled corn were (g/kg): DM, 891; OM, 984.9; CP, 88.0; aNDFom, 103.0; ADF, 31.2; starch, 694.0; ether extract, 50.0; bulk density (g/L), 640.

b Composition and density of *Jatropha curcas* seed cake were (g/kg): DM, 942; OM, 937.5; CP, 262.5; aNDFom, 472.5; ADF, 402.1; starch, 7.10; ether extract, 60.1; bulk density (g/L), 652.

c Composition and density of soybean meal were (g/kg): DM, 905.3; OM, 935.5; CP, 485.1; aNDFom, 121.0; ADF, 81.0; starch, 27.0; ether extract, 28.0; bulk density (g/L), 664.

d Mineral premix contained: CP, 500 g/kg calcium, 280 g/kg; phosphorous, 5.5 g/kg; magnesium, 5.8 g/kg; potassium, 6.5 g/kg; NaCl, 150 g/kg; vitamin A, 1100 IU/kg; vitamin E, 11 IU/kg.

e 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.

f aNDFom, neutral detergent fiber assayed with amylase and expressed exclusive of residual ash.

g Based on tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC, 1985) with the exception of *Jatropha* seed cake, which was assigned NEm and NEg values of 1.85 and 1.23 Mcal/kg, respectively. The NE values of *Jatropha curcas* seed cake were derived from chemical analyses determined in our laboratory according to the equation proposed by Zinn and Plascencia (1993).

h = megajoules.

Table 2. Treatment effects on growth performance and dietary energy in drylot lambs fed different levels of *Jatropha curcas* seed cake.

Item	<i>Jatropha</i> seed cake (g/kg)				SE M ^b	P ^a value	
	0	70	140	210		Linear	Quadratic
Days on test	49	49	49	49			
Pen replicates	4.0	4.0	4.0	4.0			
Live weight (kg) ^c							
Initial	30.7	30.6	30.6	30.7	0.17	0.90	0.77
Final	41.5	40.9	40.6	39.5	0.34	<0.01	0.42
Daily gain (kg)	0.22	0.21	0.21	0.18	0.01	0.02	0.39
Dry matter intake (g/d)	1.17	1.16	1.16	1.14	0.04	0.47	0.99
Gain to feed (kg/kg)	5.10	5.02	4.94	4.56	0.05	<0.01	0.07
Observed dietary net energy (MJ ^d /kg)							
Maintenance	1.01	1.00	0.99	0.95	0.0	<0.01	0.03
Gain	0.99	0.99	0.99	0.93	0.0	<0.01	0.03
Observed to expected daily dry matter intake ^f	1.01	1.00	1.01	1.07	0.0	<0.01	0.03
Estimated Nerng value of JCS ^h (MJ)/kg ⁱ		7.70	7.45	6.02			

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.

c The initial BW was reduced by 4 g/100 g of BW 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.

d MJ, megajoules.

e NE, net energy.

f Expected DMI was computed as follows: $DMI, \text{ kg/d} = (EM/NE_m) + (EG/NE_g)$, where EM is the maintenance coefficient of $0.056 \text{ Mcal/LW}^{0.75}$ (NRC, 1985) and EG is the daily energy deposited (MJ/d) estimated by equation: $EG = 4.184 \times [(0.276 \times ADG) \times SBW^{0.75}]$; NRC (1985). The divisor NE_m and NE_g are the NE of each diet (calculated from tables of composition of feed; NRC (1985)) with the exception of JSC, which was assigned NE_m and NE_g values of 7.74 and 4.73 Mcal/kg, respectively. The NE values of JSC were derived from chemical analyses according to the equation proposed by Zinn and Plascencia (1993).

g NE_m , net energy of maintenance.

h JSC, *Jatropha* seed cake.

i Estimated by replacement technique assuming energy value of 9.37 and 8.62 MJ EN_m /kg for dry rolled corn and soybean meal, respectively (NRC, 1985).

Table 3. Treatment effects on blood profiles in finishing lambs

Item	<i>Jatropha</i> seed cake (g/kg)				SEM ^b	P ^a value		Referenc e
	0	70	140	210		Linear	Quadratic	
Hemoglobin (g/dL)	12.38	12.87	12.74	12.96	0.29	0.24	0.65	9.0-15.0
Hematocrit (g/dL)	37.25	38.87	38.37	39.00	0.82	0.22	0.55	27-40
Glucose (mg/dL)	81.8	82.54	83.82	83.87	4.39	0.71	0.94	50-80
Creatinine (mg/dL)	0.91	1.01	1.14	1.31	0.11	0.01	0.69	1.0-1.8
Urea (mg/dL)	34.0	34.72	33.08	34.54	2.53	0.98	0.88	30-50
Lipase (U/L)	91.13	138.75	139.00	141.25	16.60	0.09	0.24	

^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. ^c Blood et al. (1983).

Table 4. Treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of shoulder muscle.

Item	<i>Jatropha</i> seed cake (g/kg)				SEM ^b	P ^a value	
	0	70	140	210		Linear	Quadratic
Hot carcass weight (kg)	24.17	23.68	23.45	22.88	0.26	<0.01	0.89
Dressing percentage	57.52	57.7	57.5	58.5	0.47	0.25	0.28
Cold carcass weight (kg)	23.9	23.2	23.2	22.1	0.19	0.56	0.18
LM ^c area (cm ²)	13.43	13.69	13.88	13.41	0.41	0.94	0.4
Fat thickness (cm)	0.54	0.52	0.52	0.38	0.03	0.01	0.11
Kidney pelvic and heart fat (g/100 g carcass wt)	3.73	3.92	3.85	3.80	0.41	0.96	0.77
Shoulder composition							
Total weight (kg)	1.67	1.67	1.76	1.70	0.046	0.72	0.64
Muscle (kg)	0.99	1.00	1.09	1.08	0.024	0.03	0.47
Fat (kg)	0.348	0.337	0.326	0.300	0.019	0.04	0.62
Bone (kg)	0.335	0.330	0.347	0.320	0.010	0.51	0.28
Shoulder composition (g/kg)							
Muscle	592	600	618	635	8.1	<0.01	0.76
Fat	208	202	185	177	5.7	0.02	0.98
Bone	200	198	197	188	31	0.45	0.40
Muscle to bone ratio	2.98	3.05	3.53	3.47	0.18	0.04	0.71
Muscle to fat ratio	3.07	3.06	3.22	3.24	0.06	0.04	0.86

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. ^c Longissimus muscle.

Table 5. Treatment effects on visceral organ weight

Item	<i>Jatropha</i> seed cake (g/kg)				SEM ^b	P ^a value	
	0	70	140	210		Linear	Quadratic
Full final weight (kg)	41.49	40.90	40.64	39.48	0.34	<0.01	0.42
GIT ^c fill (kg)	3.56	3.17	3.57	3.16	0.23	0.39	0.73
Empty body weight (kg)	37.93	37.61	37.06	36.31	0.35	0.04	0.57
Empty body weight (as percentage of full weight)	91.42	91.96	91.19	91.97	0.34	0.37	0.86
Full viscera (kg)	8.21	7.93	8.19	7.61	0.23	0.19	0.55
Organs (g/kg, empty body weight)							
Stomach complex	34.50	33.89	34.13	33.29	0.76	0.37	0.89
Intestines	48.14	49.27	50.18	48.39	1.26	0.78	0.27
Liver	17.84	17.44	16.98	17.43	0.44	0.44	0.40
Heart/lungs	22.24	22.67	22.92	23.71	0.83	0.24	0.83
Visceral fat	32.65	34.13	34.59	34.55	1.04	0.06	0.21

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. c GTI, gastro intestinal tract.

References

- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- Abdel Gadir, W.S., Onsa, T.O., Alí, W.E.M., El Badwi, S.M.A., Adam, S.E.I., 2003. Comparative toxicity of *Croton macrostachis*, *Jatropha curcas* and *Piper abyssinica* seed in Nubian goats. *Small Rum. Res.* 48, 61–67.
- Beauchemin, K.A., McClelland, L.A., Jones, S.D.M., Kozub, G.C., 1995. Effects of crude protein-content, protein degradability and energy concentration of the diet on growth and carcass characteristics of market lambs fed high concentrate diets. *Can. J. Anim. Sci.* 75, 387–395.
- Belewu, M.A., Belewu, K.Y., Ogunsola, F.E., 2010. Nutritive value of dietary fungi treated *Jatropha curcas* carcass kernel cake: voluntary intake, growth and digestibility coefficients of goat. *Agric. Biol. J. N. Am.* 1, 135–138.
- Berenchtein, B., Abdalla, A.L., Morsy, A.A.S., Abdalla-Filho, A.L., Godoy, P.B., Santos, P.P., Gomes, J.D.F., Castilho, L.A., Paim, T.P., 2013. Detoxified physic nut meal (*Jatropha curcas* L.) as ingredient for animal feed. *IOSR-JAVS* 3, 29–34.
- Blood, D.C., Radostis, O.M., Handerson, J.A., Arunded, J.H., Gay, C.C., 1983. Normal laboratory values. In: *Veterinary Medicine*, 6th ed. ELBS and Baillière, Tindall, Eastbourne, UK.
- Botero, R.A., Mattos, C., Sidney, L., De Souza, A.H., Detmann, E., De Paula, R., 2012. Protein co-products and by-products of the biodiesel industry for ruminants feeding. *R. Bras. Zoot.* 41, 1202–1211.
- Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Van Soest, P.J., 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82, 149–169.

Crosby, W.H., Wunn, J.I., Furth, F.W., 1954. Standardizing a method for haemoglobinometry. U. S. Armed Forces Med. J. 5, 693–703.

Ebrahimi, R., Ahmadi, H.R., Zamiri, M.J., Rowghani, E., 2007. Effect of energy and protein levels on feedlot performance and carcass characteristics of Mehraban ram lambs. Pakistan J. Biol. Sci. 15, 1679–1684.

El-Zelaky, O.A., Khalifa, E.I., Mohamed, A., Bahera, H., Mohamed, K., Hussein, A.M., 2011. Productive and reproductive performance of Rahmani male lambs fed rations containing *Jatropha* cake. Egypt. J. Sheep Goat Sci. 6, 15–24.

Estrada-Angulo, A., Valdés, Y.S., Carrillo-Muro, O., Castro-Pérez, B.I., Barreras, A., López-Soto, M.A., Plascencia, A., Dávila-Ramos, Ríos, F.G., Zinn, R.A., 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.

Foster, J.L., Adesogan, A.T., Carter, J.N., Blount, A.R., Myer, R.O., Phatak, S.C., 2009. Intake, digestibility, and nitrogen retention by sheep supplemented with warm-season legume haylages or soybean meal. J. Anim. Sci. 87, 2899–2905.

Galyean, M.L., Defoor, P.J., 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. J. Anim. Sci. 81 (E. Suppl. 2), 8–16.

Johnson, D.E., Johnson, K.A., Baldwin, R.L., 1990. Changes in liver and gastrointestinal tract energy demands in response to physiological workload in ruminants. J. Nutr. 120, 649–655.

Kavalek, M., Havrland, B., Ivanova, T., Hutla, P., Skopec, P., 2013. Utilization of *Jatropha curcas* L. seed cake for production of solid biofuels. In: Engineering.

Rural Development, 13th Int. Scientific Conference. Latvia University of Agriculture, Latvia. Kumar, V., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2012. Evaluations of the nutritional value of *Jatropha curcas* protein isolate in common carp (*Cyprinus*

carpio L.). J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 96, 1030–1143.

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

Mahgoub, O., Lu, C.D., Early, R.J., 2000. Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. Small Rum. Res. 37, 35–42.

Makkar, H.P.S., Aderibigbe, A.O., Becker, K., 1998. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. Food Chem. 62, 207–215.

Makkar, H.P.S., Becker, K., 1999. Plant toxins and detoxification methods to improve feed quality of tropical seeds. Asian Australas. J. Anim. Sci. 12, 467–480.

Makkar, H.P.S., Siddhuraju, P., Becker, K., 2007. Plant Secondary Metabolites. Methods in Molecular Biology. Ed. Humana Press, Totowa, New Jersey.

Martínez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, P., Dávila-Ortíz, G., Becker, G.K., 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., Jones, A.R., Steinberg, A.G., 1955. The hematocrit of capillary blood. New Engl. J. Med. 253, 308–312.

Megumi, M.C., Rodrigues, J.M., Silva, L.P., Soares, J., Cuquetto, H., Texeira, M., 2011. Bio-detoxification of *Jatropha* seed cake and its use in animal feed. In: Fang, Z. (Ed.), Biodiesel – Feedstocks, Productions and Applications. Tech Publisher, pp. 309–330.

Molenda, M., Montross, M.D., Horabik, J., Ross, I.J., 2002. Mechanical properties of corn and soybean meal. *Trans. ASAE* 45, 1929–1936.

Neville, T.L., Ward, M.A., Reed, J.J., Soto-Navarro, S.A., Julius, S.L., Borowicz, P.P., Taylor, J.B., Redmer, D.A., Reynolds, L.P., Caton, J.S., 2008. Effects of level and source of dietary selenium on maternal and fetal body weight, visceral organ mass, cellularity estimates, and jejunal vascularity in pregnant ewe lambs. *J. Anim. Sci.* 86, 890–901.

NRC, 1984. *Nutrient Requirement of Beef Cattle*, 6th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC. NRC, 1985. *Nutrient Requirement of Sheep*, 6th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

NRC, 2007. *Nutrient Requirement of Small Ruminant: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*, 6th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

Oliveira, P.B., Lima, P.M.T., Campeche, A., Mendonça, S., Laviola, B.G., McManus, C., Louvandini, H.H., 2013. Growth and carcass characteristics of Santa Inês lambs fed diet supplemented with physic nut meal free of phorbol ester. *Small Rum. Res.* 114, 20–25.

Phengnuam, T., Suntornsuk, W., 2013. Detoxification and anti-nutrients reduction of *Jatropha curcas* seed cake by *Bacillus* fermentation. *J. Biosci. Bioeng.* 115, 168–172.

Plascencia, A., Estrada, M., Zinn, R.A., 1999. Influence of free fatty acid content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 77, 2603–2609.

Plascencia, A., Bermudez, R., Cervantes, M., Corona, L., Davila-Ramos, H., López-Soto, M.A., May, D., Torrentera, N., Zinn, R.A., 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.

Ríos-Rincón, F.G., Dávila-Ramos, H., Estrada-Angulo, A., Plascencia, A., López-Soto, M.A., Castro-Pérez, B.I., Calderón-Cortes, J.F., Portillo-Loera, J.J., Robles- Estrada, J.C., 2014. Influence of protein and energy level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of feedlot hair lambs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 27, 55–60.

Saha, S., Ghosh, K., 2013. Evaluation of nutritive value of raw and fermented de-oiled physic nut, *Jatropha curcas* seed meal in the formulated diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. *Proc. Zool. Soc.* 66, 41–50.

Sainz, R.D., Bentley, B.E., 1997. Visceral organ mass and cellularity in growth-restricted and refed beef steers. *J. Anim. Sci.* 75, 1229–1236.

SAS, User's Guide: Statistics Version 9, 6th ed.

SAS Inst., Inc. Cary, NC. Sun, W., Goetsch, A.L., Forster Jr., L.A., Galloway Sr., D.L., Lewis Jr., P.K., 1994. Forage and splanchnic tissue mass in growing lambs. *Br. J. Nutr.* 7, 141–151. USDA, 1982.

Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. *Agric. Marketing.*

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.

Wang, H., Chena, Y., Zhao, Y., Liu, H., Liu, J., Makkar, H., Becker, P.S.K., 2011. Effects of replacing soybean meal by detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in the diet of growing pigs on their growth, serum biochemical parameters and visceral organs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 170, 141–146.

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.

Zinn, R.A., 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68, 776–781. Zinn, R.A., Plascencia, A., 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71, 11–17.

Zinn, R.A., Plascencia, A., 1996. Effect of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets. *J. Anim. Sci.* 74, 1194–1201.

Zinn, R.A., Shen, Y., 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 76, 1280–1289.

CAPITULO IV: FEEDING VALUE OF SUPPLEMENTAL *Jatropha curcas* CRUDE OIL IN FINISHING DIETS FOR FEEDLOT LAMBS

J. A. Félix-Bernal^a, A. Estrada-Angulo^b, M. A. Angulo-Escalante^a, D. Muy-Rangel^a, B. I. Castro- Pérez^b, H. Landeros-López^c, M. A. López-Soto^c, A. Barreras^c, R. A. Zinn^d, A. Cerrillos^e and A. Plascencia^{c1}

^a *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Culiacán, Sinaloa, México.*

^b *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán 1084, Sinaloa, México.*

^c *Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali 21100, Baja California, México.*

^d *Department of Animal Science, University of California, Davis 95616.*

^e *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México.*

¹ Corresponding author at: Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Carretera Mexicali-San Felipe Km 3.5, Fracc. Campestre, CP 21386, Mexicali, B.C. México. Tel.: +52 686 5651336; fax: +52 686 5636907 *E-mail address:* aplas_99@yahoo.com, alejandro.plascencia@uabc.edu.mx (A. Plascencia).

Artículo enviado para publicación a la revista Journal of animal science Clave (E-2016-0598), Fecha de envío: 2 de mayo de 2016.

Abstract

The objective of this experiment was to determine the comparative 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. Supplemental JCO replaced dry rolled corn in the basal diet. Fatty acid composition of JCO was as follows: C16:0, 14.0%; C18:0, 8.2%; C18:1, 26.0%; C18:2, 50.3% and C18:3, 0.4%. Supplemental JCO did not affect ($P=0.33$) dry matter intake (DMI), but tended to increase (linear effect, $P=0.06$) average daily gain, increased efficiency of gain (linear effect, $P<0.01$) and observed dietary net energy (linear effect, $P<0.01$), and decreased (linear effect, $P<0.01$) the ratio of observed/expected DMI. There were not treatment effects on plasma metabolites. Across treatments, the concentrations of haemoglobin, haematocrit, glucose, creatinine, and urea were within normal ranges for healthy lambs. Supplemental JCO did not affect hot carcass weight or kidney-pelvic-heart fat, but decreased (linear effect, $P=0.03$) dressing percentage, and increased ($P<0.01$) fat depth. As level of JCO inclusion increased, shoulder muscle: fat ratio decreased (linear effect, $P<0.01$). Replacing corn with JCO did not affect empty body weight (EBW, as percentage of full weight), the organ weights as a proportion of EBW (g/kg EBW) or omental fat, but increased (linear effect, $P=0.03$) visceral fat (due mainly to increased mesenteric fat). At low levels of supplementation the net energy (NE) value of JCO corresponds closely (0.99) to the NE value assigned by current standards (NRC, 2007), this NE value decreased linearly as the inclusion level of JCO increased. Based on DMI and performance observed in this study, nontoxic JCO is a safe and suitable source of energy in finishing diets for lambs. However, level of supplementation should not exceed 4% of diet dry matter.

Keywords: *Jatropha*, Oil, lambs, Finishing, Feeding value.

1.0 Introduction

Conventional fats (tallow, yellow grease, acidulated vegetable soapstock) are commonly 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. Energy values for supplemental fat and oils for lambs assigned by current standards (NRC, 2007) are as follows:

total digestible nutrients (TDN), 195%; digestible energy (DE, Mcal/kg) 8.6; metabolizable energy (ME, Mcal/kg) 7.1, net energy for maintenance (NEm) and gain (NEg) 6.30 and 5.1Mcal/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 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 than unsaturated fatty acids. However, at greater levels of supplementation, digestibility of C18:0 dramatically declines (Plascencia et al., 2004). And, this is one of main causes for decreased energy value of supplemental fats as levels of supplementation increase (Zinn and Plascencia, 2007). Digestibility of C18:0 can be improved when increases flows of C18:1 to small intestine (Zinn et al., 2000). It has been 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 this type of supplemental fats can be included at high levels in diets with a lesser negative impact on its energy value. Soy oil, corn oil, and sesame oil are good sources of C18:2 (~ 45%), but due to their higher cost, are seldom fed as fed as energy supplements in ruminants diets. Oil extracted from *Jatropha curcas* seed is rich in C18:2 (45-55%). Crude *Jatropha* oil is not suitable for human consumption and in a few countries the oil is processed to produce biofuel. *Jatropha curcas* seed cake (from a Mexican non-toxic variety) derivative from the process to obtain of *Jatropha* crude oil extraction has been found to be a suitable feedstock for finishing lambs (Félix-Bernal et al., 2014). However, *Jatropha* crude oil has not been evaluated as energy source for ruminant's diets. 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 lambs.

2.0 Material and methods

2.1. Diets, animals and experimental design

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in the Culiacán, México (24° 46' 13" N and 107° 21' 14"W). Culiacán is about 55 m above sea level, and has a tropical climate. All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally-approved techniques for animal use and care. Twenty intact male lambs (Pelibuey × Katahdin, 40.7 ± 3 kg BW) were used. Thirty days before the initiation of the experiment, lambs were treated for endoparasites (Tasasel®5%, Fort Dodge, Animal Health, México), and injected with 1x10⁶ IU vitamin A (Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México). Upon initiation of the experiment, lambs were weighed individually before the morning meal (electronic scale; TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY electronics Inc., Houston, TX, USA), and 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 4 overhead shade, automatic waterers and 1 m fence-line feed bunks. During a 15-d adaptation period all lambs received the basal diet (no JCO supplementation, Table 1). 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. Corn (white corn variety) was prepared by passing whole corn through rollers (46 × 61cm rolls, 5.5 corrugations/cm; Memco, Mills Rolls, Mill

Engineering & Machinery Co., Oklahoma, CA) that had been adjusted to provide an approximate rolled-grain density (as-is basis) of 0.62 kg/L. Sudangrass hay which 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 are shown in the footnote of Table 1. Dietary treatments were randomly assigned to lambs within weight groupings. Treatments were evaluated during a 56-day finishing period. Lambs were individually weighed. The initial body weight (BW) 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 from feed (drinking water was not withdrawn) for 18 h before recording the final BW. 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 in the feed bunk. The amounts of feed offered and feed refused were weighed daily. Lambs were provided fresh feed twice daily at 0800 and 1400 h in a 40:60 proportion (as fed basis). Refusals were collected and weighed prior to the morning feed and feed intake was determined on a daily basis.

2.2 Sample analysis

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 \times 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 1mL per 100mL 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 of

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.

2.3. Calculations

Gain efficiency 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×SBW^{0.75} (NRC, 1985), EG (energy gain, Mcal/d) = 0.276× ADG× 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 × Katahdin male lambs (Estrada-Angulo et al., 2013). Observed dietary NE was estimated by means of the quadratic formula:

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}$$

where $x = \text{NE}_m$, $a = -0.41\text{EM}$, $b = 0.877 \text{EM} + 0.41 \text{DMI} + \text{EG}$, and $c = -0.877 \text{DMI}$ (Zinn 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, Mcal/kg = [(Test Diet NE_m – Control diet NE_m)/JCOI] + 2.20, where JCOI 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)

2.4 Blood metabolites

Approximately 6 mL of blood was collected from the jugular vein of each individual in vacuum tubes (Vacumed® Lithium Heparin and Vacumed®) on day 49, 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 15 min at 3,000 × *g* at a temperature of 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 a Diagnostic commercial kits (Bio Systems, México, Zapopan Jalisco).

2.5 Carcass and visceral mass data

All lambs were sacrificed on the same day. Hide and gastrointestinal organs were separated and weighed. Carcasses (with kidney pelvic and heart fat included) were chilled in a cooler at -2 °C to 1 °C for 48 h, then the following measurements were obtained: 1) fat thickness perpendicular to the *m. longissimus thoracis* (LM), measured over the center of the ribeye between the 12th and 13th rib; 2) LM surface area, measure using a grid reading of the cross sectional area of the ribeye between 12th and 13th rib, and 3) kidney, pelvic and heart fat (KPH). The KPH was removed manually from the carcass, and then weighed and reported as a percentage of the cold carcass weight (USDA, 1982). Each carcass was split along the vertebrae into two halves. Shoulders were obtained from the forequarter. Shoulder weight was recorded, and composition was assessed using physical dissection (Luaces et al., 2008).

All tissue weights were reported on a fresh tissue basis. Previous data suggests

that there is very little variation among fresh and dry weights for visceral organs (Neville et al., 2008). Organ mass was expressed as grams of fresh tissue per kilogram of final EBW.

Final EBW represents the final full BW minus the total digesta weight. Full visceral mass was calculated by the summation of all visceral components (stomach complex + small intestine + large intestine + liver + lungs + heart), including digesta. The stomach complex was calculated as the digesta-free sum of the weights of the rumen, reticulum, omasum and abomasum.

2.6 Statistical analysis

Performance (DMI, ADG, gain efficiency, dietary NE, observed/expected dietary NE ratio, observed/expected DMI ratio) and carcass data were analyzed as a randomized complete block design considered the lamb as the experimental unit. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used to analyze the variables, with the final hot carcass weight (HCW) as a covariate when it represented a significant ($P \leq 0.05$) source of variation in the carcass data.

Shoulder composition was analyzed as a general complete block design, including the effect of block \times treatment interaction, together with the effect of cold carcass weight as covariate. When the covariate represented a non-significant ($P > 0.05$) source of variation it was not included in the model. Visceral organ mass data were analyzed as a general complete block design, including the effect of block \times treatment interaction. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used to analyze the variables. Treatment effects were tested for linear, quadratic and cubic components of the JCO supplementation level. 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

Cubic effects were not significant ($P \geq 0.10$). Thus, the *P-values* for this component are not present in the tables.

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 /day, 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 efficiency 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 concentration of haemoglobin, haematocrit, glucose, creatinine, and urea were within the reference (Blood et al., 1983) normal ranges for healthy lambs. Treatment effects on carcass characteristics and composition of shoulder muscle is shown in Table 5. There were no treatment effects ($P > 0.20$) on HCW and KPH. However, JCO supplementation decreased (linear effect, $P=0.03$) dressing percentage and increased ($P < 0.01$) fat thickness. As level of JCO inclusion increased, decreased (linear effect $P < 0.04$) the proportion (g tissue/100 g of shoulder weight) of muscle and increased ($P=0.02$) the proportion of fat in whole shoulder clod. Replacing corn with JCO

did not affect empty body weight (EBW, as percentage of full weight) or the organ weights as a proportion of EBW (g/kg EBW). Increased JCO levels did not affect omental fat, but increased ($P=0.03$) visceral fat mainly by increasing ($P<0.01$) mesenteric fat.

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 previous 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 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 previous 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 evaluating the effects of supplemental JCO on performance and carcass characteristics. 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 the present study, the highest level of JCO supplementation (1.6 g / kg BW) was 77% the level observed by study Bhatt et al. (2011) to depress DMI.

Increased on gain efficiency of cattle as result of fat supplementation is expected due to the resulting increase in 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 NEm and NEg values of supplemental JSO averaged 5.80 and 4.68 Mcal/kg, respectively. These values are similar to those reported previously to 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 NEm and NEg 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 stated previously, 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 NEm (Mcal/kg) of corn used was 2.20 Mcal ENm/kg [Using the equation: $0.0255\text{ADF} + 0.0325\text{CP} + 0.0704\text{EE} + 0.034\text{NFE} - 1.18$ [where nutrient concentration expressed as g/100g, EE is ether extract and NFE (nitrogen free extract) is equivalent to $100 - (\text{ADF} + \text{CP} + \text{EE} + \text{ash})$]; Zinn and

Plascencia, 1993]. This result is identical to the value expressed by 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 attributable 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 NEm 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 NEm of soapstock declined from 5.65 Mcal/kg at the 4% level to 2.85 NEm at the 12% level of supplementation. In like manner, Zinn and Plascencia (2004) observed that increasing the level of tallow supplementation from 3 to 9% decreased ADG, DMI, and feed efficiency. Observed dietary NEm 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 rectilinearly 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 NEm 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 NEm 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, while 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 NEm (Mcal/kg) 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% (Czerkawsky 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 wide range of 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). The normal ranges observed for hemoglobin content of blood, and serum concentration of urea, creatinine, and glucose in lambs fed JCO supplemented diets in the present experiment corroborated the absence of toxic phorbol esters in the *Jatropha curcas* variety grown in the Sinaloa region of Mexico.

The effects of supplemental fat on carcass characteristics of cattle have been variable. In some studies, fat supplementation increased HCW and dressing percentage (Zinn, 1989; Zinn et al., 2000). Whereas in others (Quinn et al., 2008; Donicht et al., 2011), no effect of supplemental fat on carcass characteristics were observed. In feedlot lambs, the effects of fat supplementation of carcass characteristics have been minimal (Dutta et al., 2008; Bhatt et al., 2011). However, greater fat thickness in lambs fed supplemental fat has been previously observed (Solomon et al., 1992; Popova et al., 2011). The negative linear effect of supplemental JCO on dressing percentage observed in the present experiment is uncertain. Much of the inconsistency in carcass characteristics response to supplemental fat may be

more related to total lipid intake rather than to percentage supplemental fat (Zinn, 1994), and by degree of maturity at time of harvest (McPhee et al., 2008).

Consistent with the present study, Popova et al. (2011) also observed a decrease in the muscle: fat ratio of shoulder clods of lambs fed supplemental coconut oil. Likewise, Bhatt et al. (2011) noted an 18% increase in carcass fat in finishing lambs supplemented with 5% of coconut oil. Increased carcass fat due to fat supplementation has been likewise observed in feedlot cattle (Zinn, 1988; 1989). In contrast, Ferreira et al. (2014) observed that the addition of a combination of soybean oil and fish oil up to 7.5% of diet DM did not affect carcass fat deposition in feedlot lambs.

Results of the effect of vegetable oils on non-carcass components are limited in the literature. Supplementation of 2% of soybean oil to Texel × Santa Inês lambs increased small intestinal weight as a percentage of total carcass weight (Soarez et al., 2012). Likewise, in our study, intestines weight (as g/g of EBW) tended to increase as JCO increased in diet. Dávila-Ramirez et al. (2014) observed that inclusion of 6% supplemental soybean oil decreased lung and liver weights of Dorper × Pelibuey lambs. Consistent with our findings, Soarez et al. (2012) observed a 23% of increase in mesenteric fat, in Texel × Santa Inês lambs supplemented with 2% of soybean oil during 87-day feeding period. They did not observe differences on omental fat deposits. In feedlot cattle, increased visceral fat has been a consistent response to increasing levels of fat supplementation (Zinn, 1988; Plascencia et al., 1999). Based on growth performance responses and plasma metabolites, we conclude that nontoxic JCO is a safe and 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.

Table 6. Composition of diets

Item	<i>Jatropha</i> crude oil			
	0	2	4	6
Ingredient composition (%)				
Dry-rolled corn ^a	72.00	70.00	68.00	66.00
<i>Jatropha</i> crude oil	0.00	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
Complementary urea	0.00	0.07	0.14	0.21
Trace mineral salt (agromix) ^b	2.50	2.50	2.50	2.50
Chemical composition ^c , (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 (Mcal/kg)				
Maintenance	2.00	2.08	2.16	2.24
Gain	1.35	1.42	1.49	1.56

a 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. b 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.

b 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

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

Table 7. Composition of supplemental *Jatropha* crude oil

Item	<i>Jatropha</i> crude oil
Free fatty acids, %	6.58
Fatty acid, %	
C 16:0	13.96
C 16:1	0.49
C 18:0	8.28
C 18:1	26.00
C 18:2	50.32
Others	0.95
Iodine value, g iodine/100 g fat	82.77
Moisture, %	0.30
Impurities, %	0.50
Unsaponifiable matter, %	0.62
Phorbol sters	ND

Table 8. Treatment effects on growth performance and dietary energy in drylot lambs fed different levels.

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level (%)				SEM _b	P ^a value	
	0	2	4	6		L	Q
Days on test	56	56	56	56			
Replicates	5	5	5	5			
Live weight (kg) ^e							
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 ^d /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 ^f	0.99	0.95	0.92	0.89	0.014	<0.01	0.79
Estimated NE value of JCO, Mcal/kg							
Maintenance		6.20	5.70	5.53			
Gain		5.03	4.59	4.44			
Relative fat feeding value to NRC (2007)		0.98	0.09	0.88			

a P = observed significance level for linear, quadratic and cubic effect of supplementation level of JCO. 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.

c The 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.

d Mcal, megacalorie

e NE, net energy

f Expected DMI was computed as follows: $DMI, \text{ kg/d} = (EM/NE_m) + (EG/NE_g)$, where EM=maintenance coefficient of

Table 9. Treatment effects on blood profiles in finishing lambs.

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level (%)					P ^a value		
	0	2	4	6	SEM ^b	L	Q	Reference ^c
Hemolobin (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	50.80
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

a *P* = observed significance level for linear, quadratic and cubic effect of supplementation level of JCO. 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.

c Blood et al. (1983).

Table 10. Treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of shoulder muscle of *Jatropha curcas* crude oil.

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level (%)				SEM ^b	P ^a value	
	0	2	4	6		L	Q
Hot carcass weight (kg)	32.80	32.13	32.23	32.30	0.510	0.55	0.49
Dressing percentage	60.99	60.10	59.60	58.64	0.660	0.03	0.96
Cold carcass weight (kg)	32.31	31.90	32.06	32.01	0.560	0.88	0.51
LMc area (cm ²)	17.32	16.40	16.44	16.38	0.550	0.25	0.56
Fat thickness (cm)	0.25	0.30	0.36	0.39	0.020	<0.01	0.61
Kidney pelvic and heart fat (%)	3.16	3.38	3.54	3.57	0.260	0.24	0.72
Shoulder clod composition							
Total weight (kg)							
Muscle (kg)	1.540	1.508	1.454	1.405	0.055	0.09	0.88
Fat (kg)	0.437	0.426	0.466	0.468	0.023	0.22	0.76
Bone (kg)	0.454	0.441	0.444	0.447	0.013	0.74	0.56
Shoulder composition (%)							
Muscle	63.35	63.54	61.32	60.48	0.993	0.04	0.62
Fat	17.97	17.91	19.78	20.19	0.675	0.02	0.73
Bone	18.68	18.55	18.91	19.40	0.730	0.46	0.68
Muscle to fat ratio	3.53	3.60	3.12	3.03	0.170	0.03	0.62
Muscle to bone ratio	3.40	3.43	3.29	3.15	0.160	0.26	0.62

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. c *Longissimus* muscle

Table 11. Treatment effects on visceral organ weight of *Jatropha curcas* crude oil.

Item	<i>Jatropha</i> crude oil level (%)				SEM ^b	P ^a value	
	0	2	4	6		L	Q
GIT ^c fill (kg)	4.17	4.24	4.37	4.33	0.260	0.59	0.83
Empty body weight, kg	49.63	49.23	49.74	50.43	0.690	0.36	0.44
Empty body weight (% of full weight)	92.28	92.10	91.89	92.05	0.470	0.68	0.73
Full viscera (kg)	10.01	10.30	10.40	10.57	0.320	0.26	0.89
Organs (g/kg, empty body weight)							
Stomach complex	31.32	32.57	31.79	31.78	0.800	0.87	0.45
Intestines	42.46	45.10	45.02	45.62	1.220	0.11	0.42
Liver/spleen	21.42	22.86	21.24	22.73	1.080	0.64	0.98
Kidney	2.76	2.63	2.85	2.79	0.112	0.55	0.78
Heart/lungs	22.76	22.51	22.79	23.54	0.860	0.51	0.57
Omental fat	26.110	27.95	27.80	28.340	1.110	0.21	0.57
Mesenteric fat	4.02	5.56	6.20	7.11	0.490	<0.01	<0.53
Visceral fat	30.14	33.52	34.01	35.46	1.400	0.03	0.50

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.

c GTI, gastrointestinal tract.

References

Andrae, J.G., S.K. Duckett, C.W. Hunt, G.T. Pritchard, 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.

AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD.

Bhatt, R.S., N.M. Soren, M.K. Tripathi, 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.

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.

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.

Crosby, W.H., Wunn, J.I., Furth, F.W., 1954. Standardizing a method for haemoglobinometry. *U.S. Armed Forces Med. J.* 5, 693-703.

Dávila-Ramírez, J. L., U. Macías-Cruz, N. G. Torrentera-Olivera, H. González-Ríos, S. A. Soto- Navarro, R. Rojo, and L. Avendaño-Reyes. 2014. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of hair- breed ram lambs under heat stress conditions. *J. Anim. Sci.* 92:1184–1192.

Donicht, P.A.M.M.; Restle, J.; Freitas, L.S., Callegaro L.M.,Weise, M.S., I. L.

Brondani. 2011. Fat sources in diets for feedlot-finished steers-carcass and meat characteristics. *Ciência Animal Brasileira*.12:487-496.

Dutta, T.K., Agnihotri, M.K., Rao, S.B.N., 2008. Effect of supplemental palm oil on nutrient utilization, feeding economics and carcass characteristics in post weaned Muzafarnagari lambs under feedlot conditions. *Small Rumin. Res.* 78, 66–73.

Enjalbert F, Nicot M C, Bayourthe C and Moncoulon R. 2000.Effect of duodenal infusion of palmitic, stearic or oleic acids on milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Science* **83**: 1428–33.

Estrada-Angulo, A., Valdés, Y.S., Carrillo-Muro, O., Castro-Pérez, B.I., Barreras, A., López- Soto, M.A., Plascencia, A., Dávila-Ramos, Ríos, F.G., Zinn, R.A., 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.

Félix-Bernal, J.A., M.A. Angulo-Escalante, A. Estrada-Angulo, J.B. Heredia, D, Muy-Rangel, M.A. López-Soto, A. Barreras, 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.

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 characteristics, and meat fattyacid profile of lambs fed soybean oil partially replacedby fish oil blend. *Anim. Feed Sci. Technol.*187:9-18.

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., Makkar HPS, Francis G, Becker K. 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., Saha, S.K., Sastry, V.R.B., Lade, M.H. Prakash, B., 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, B. Prakash. 2013. Nutrient intake, digestibility, and blood metabolites of goats fed diets containing processed *Jatropha* meal. *Trop. Anim. Health Prod.* 45:1563-1569.

Kott, R.W., Hatfield, P.G., Bergman, J.W., Flynn, C.R., Van Wagoner, H., Boles, J.A. 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.

Luaces, M. L., C. Calvo, B. Fernández, A. Fernández, J. L. Viana, and L. Sánchez. 2008. Predicting equation for tisular composition in carcass of Gallega breed lambs. *Arch. Zoot.*57:3-14.

Machmüller, A., Kreuzer, M. 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., Siddhuraju, P., Becker, K., 2007. *Plant Secondary Metabolites. Methods in molecular Biology.* Ed. Humana Press. Totowa, New Jersey.

Martínez-Herrera J, Siddhuraju P, Francis G, Dávila-Ortíz G, Becker K. 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., Jones, A.R., Steinberg, A.G., 1955. The hematocrit of capillary blood. New Engl. J. Med. 253, 308-312.

McPhee, M. J., Hopkins, D. L., Pethick, D. W. 2008. Intramuscular fat levels in sheep muscle during growth. Australian J. Experimental Agric. 48: 904-909.

Mierlita, D, P. Ioan, D. Stelian, L. Florin, M. Cristina, C. Ioan. 2010. Effect of dietary supplementation with different types of protected fat on bioproductive performances and quality of carcass in sheeps. Analele Universităţii din Oradea Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie si Tehnologii de Industrie Alimentară, 2010.

http://protmed.uoradea.ro/facultate/anale/ecotox_zooteh_ind_alim/2010/Imapa/90%20Mierlita%20Daniel.pdf. Accesed February 24, 2016.

Neville, T. L., M. A. Ward, J. J. Reed, S. A. Soto-Navarro, S. L. Julius, P. P. Borowicz , J. B. Taylor, D. A. Redmer, L. P. Reynolds, and J. S. Caton. 2008. Effects of level and source of dietary selenium on maternal and fetal body weight, visceral organ mass, cellularity estimates, and jejunal vascularity in pregnant ewe lambs. J. Anim. Sci. 86: 890-901.

NRC.1985. Nutrient requirement of sheep. 6th ed. National Academy Press. Washington, DC, USA.

NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. National Academy of Sciences Press. Washington, DC.

NRC. 2007. Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press. Washington, DC, USA.

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., 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.

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.

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.

Popova, T., Ignatova, M., Marinova, P., Abadjieva, D. 2011. Effect of coconut oil supplementation on the carcass composition and muscle physicochemical characteristics in lambs. *Biotechnology in Animal Husbandry* 27: 1139-1145.

Quinn, M.J., E. R. Loe, B. E. Depenbusch, J. J. Higgins, J. S. Drouillard. 2008. The effects of flaxseed oil and derivatives on in vitro gas production, performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing steers. *Prof. Anim.Sci.*24:161-168.

Rodriguez-Acosta M, Sandoval-Ramirez J, Zeferino-Diaz R. 2010. Extraction and Characterization of oils from three Mexican *Jatropha* Species. *J. Mex. Soc.*, 54(2): 88-91.

SAS. 2004. User's guide: statistics, version 9. SAS Inst. Cary, NC.USA.

Soares, S.B., I.F. Furusho-Garcia, I. G. Pereira, D.O. Alves, G. R. da Silva, A. K. de Almeida, C.M. Lopes, J. A. B. Sena. 2012. Performance, carcass characteristics and non-carcass components of Texel x Santa Inês lambs fed fat sources and monensin. *R. Bras. Zootec.*41:421-431.

Solomon M.B., Lynch G.P., Lough D.S.1992.Influence of dietary palm oil supplementation on serum lipid metabolites, carcass characteristics and lipid composition of carcass tissues of growing ram and ewe lambs. *J. Anim. Sci.*70:2746-2751.

USDA. 1982. Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. Agriculture Marketing Service, USA.

Van Emon, M.L., P.J. Gunn, M.K. Neary, R.P. Lemenager, A.F. Schultz, 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.

Zinn, R.A.1989. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Feedlot Cattle Growth and Performance. *J. Anim. Sci.* 67:1029- 1037.

Zinn, R.A. 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.

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 (Ed). Elsevier, Mosby Saunders. Phil. USA).

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. 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.

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

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

Harina de semilla de *Jatropha curcas* y su efecto en alimentación en ovinos

El análisis nutrimental de HJCS refiere un contenido de 28% de fibra bruta (43.25 y 40.25% de FND y FAD, respectivamente) valor superior a 18% indicado como máximo para suplementos proteicos pero, según su contenido de proteína superior a 20% la ubica dentro de esa clasificación según Crampton y Harris, (1968). Por lo tanto, si consideramos el contenido de fibra bruta la HJCS puede clasificarse como un suplemento proteico fibroso con escasas consecuencias directas en rumiantes.

El análisis toxicológico y químico proximal de harina de semilla de *Jatropha curcas* no tóxica (HJCS) indican que puede usarse en forma segura en alimentación de rumiantes sin riesgo de alteraciones clínicas aun en cantidades de hasta 21% de inclusión, porcentaje de reemplazo que compromete la respuesta productiva animal debido a que el aporte energético derivado del contenido de carbohidratos estructurales y extracto etéreo en HJCS es menos eficiente que la energía aportada por la cantidad de soya y maíz reemplazado.

El nivel máximo de reemplazo de harina de soya y maíz por HJCS que no compromete la respuesta productiva de ovinos en finalización se ubicó en 140 g kg⁻¹ de alimento nivel donde el valor de energía neta de HJCS coincide con el valor estimado según su composición química. El incrementó mas allá de este

nivel fue desfavorable para eficiencia alimenticia y peso de canal caliente en cambio, incrementó la cantidad de músculo y disminuyó la grasa en la canal. Estos efectos hasta cierto punto son contrarios al evaluar en conjunto las características de canal, dada la falta de respuesta en el resto de las variables.

Con base a lo expuesto el uso de HJCS no tóxica como alimento para rumiantes evita el costo y tiempo de procesos de detoxificación cuando se intenta utilizar HJCS de variedades tóxicas, no causa efectos clínicos indeseables por toxicidad a los animales y puede ayudar a reducir la dependencia de otras fuentes proteicas del exterior del país.

Valor alimenticio de aceite de *Jatropha* como suplemento energético en alimentación de ovinos en finalización

El perfil de ácidos grasos del aceite de *Jatropha curcas* no tóxica (JCO) es similar al aceite de cártamo, sin embargo puede variar por condiciones de manejo de cultivo y condiciones agroclimáticas. En base a la respuesta productiva global de los ovinos el valor de energía de mantenimiento y ganancia de JCO fue 5.80 y 4.68, respectivamente. Lo cual que coincide con el nivel de energía aportado con 4% de suplementación de JCO a las dietas (5.70 y 5.53 Mcal kg⁻¹) para energía de mantenimiento y ganancia respectivamente. Efecto que indica el nivel máximo de inclusión para uso eficiente de la suplementación de JCO en dietas para ovinos.

El efecto de dietas suplementadas con (JCO) sobre el perfil hematológico de ovinos no fue diferente entre tratamientos lo cual refleja ausencia de efectos

adversos e indica que JCO es una fuente de energía segura para alimentación animal.

La suplementación con JCO no modificó las características de canal con excepción del grosor de grasa dorsal y proporción de grasa contenida en el hombro, variables que aumentaron linealmente con el nivel de suplementación.

Alcance científico y tecnológico

Determinación de valor alimenticio óptimo para expresión de respuesta productiva y certidumbre de ausencia de efectos adversos a la salud en ovinos como base de futuras investigaciones relacionadas con patrones de digestión de proteínas de harina de HJCS en rumen e intestino y al conocimiento y manipulación de biohidrogenación ruminal del aceite de *Jatropha curcas* orientadas a incrementar el ácido linoleico conjugado en carne y sus efectos positivos a salud humana.

Brindar bases para impulsar investigaciones científicas para el desarrollo de cultivos productivos de *Jatropha curcas* no tóxica y formación de organizaciones sociales productoras de productoras de proteína y aceite con uso alternativo a la elaboración de biocombustible.

Generar evidencias científicas como bases para evitar el uso de subproductos provenientes de rumiantes como aporte energético en dietas para rumiantes.

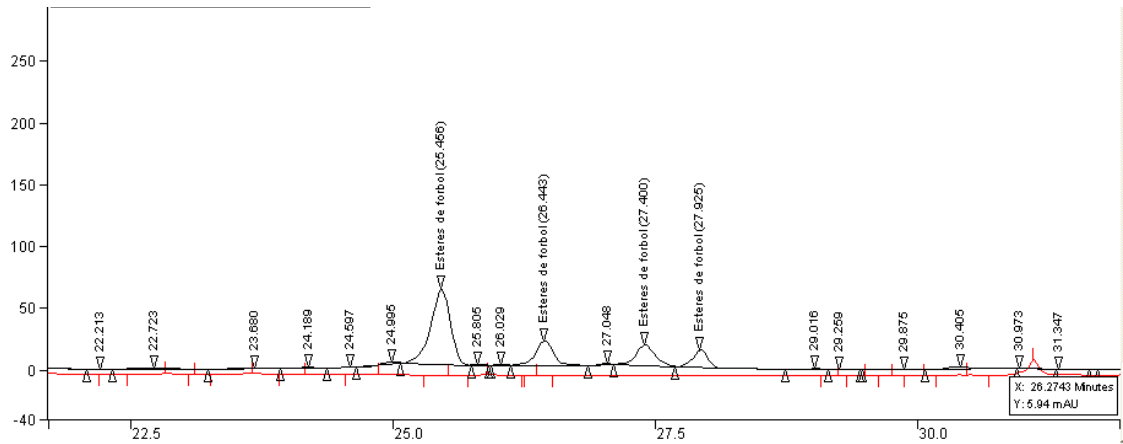


Figura 2. Determinación de esteres de forbol por HPLC.

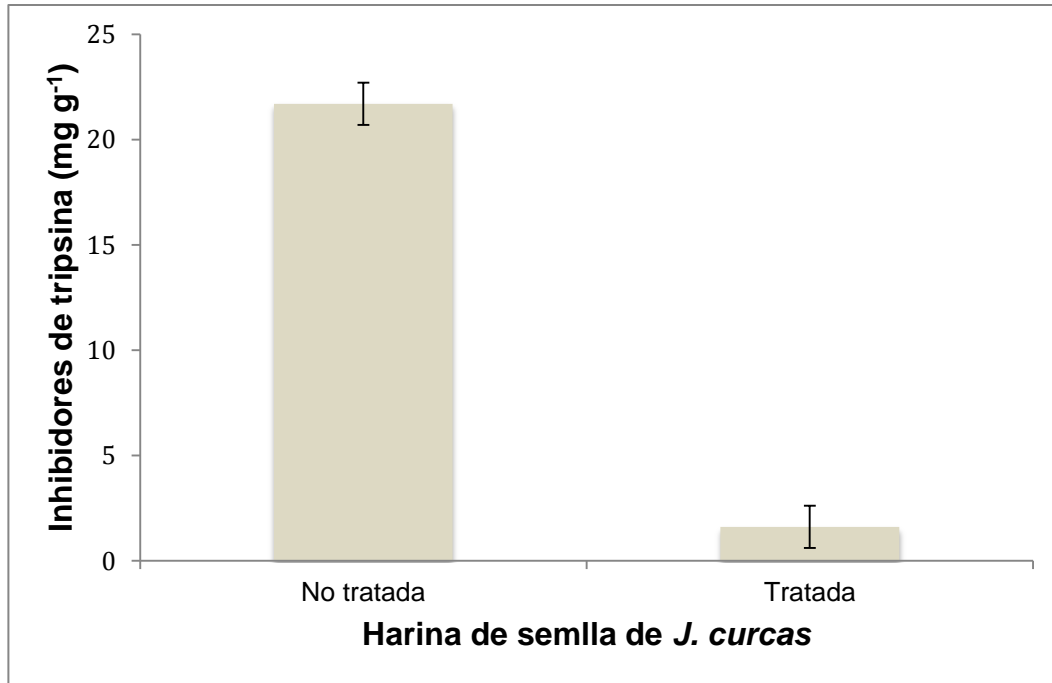


Figura 3. Determinación de inhibidores de tripsina en harina de semilla de *Jatropha curcas* tratada con calor seco