



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

**Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

**Alternativas para el proceso de semillas de canola y de cártamo para su uso
en alimentación animal**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL**

PRESENTA:

Nora Idolina Ortega Álvarez

TUTOR:

Dr. José Antonio Cuarón Ibarquengoytia
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

Dr. Germán Buendía Rodríguez
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Dr. Germán David Mendoza Martínez
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, Enero, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la gracia de vivir y permitirme llegar hasta este momento.

El presente trabajo va dedicado **a mis padres** María Inés e Isidoro que gracias a su esfuerzo, cariño, trabajo y dedicación me formaron y educaron, me motivaron a emprender el vuelo y seguir, a la distancia siempre me brindaron todo su apoyo en mis proyectos profesionales y de vida, han confiado en mí y me dijeron las palabras que hacían falta para elevar mis ánimos.

A mis hermanos Isabel e Isidoro en quienes siempre encontré cariño, apoyo y amor incondicional.

A mi pequeña sobrina Clari que me da la energía, alegría, el entusiasmo y el recuerdo de que vale la pena luchar para lograr mis objetivos.

A mi abuelita Zoila que con su alegría e historias de vida siempre iluminó mis días y alimentó mi alma.

A mis tías y tíos Eli, Kinti, Morales, Cire, Obed, Lupe, Milo, Cheque quienes siempre tuvieron palabras de aliento y estuvieron al pendiente de mis logros.

A mis primos y primas Pepe, Isra, Ana, Lupe, Víctor, Lis, Mariana, Monse, Obed, Luis, Bety, Bere, Hani y Dari que sentían curiosidad y admiración con mis proyectos y tenían palabras de afecto y felicitación.

A la gran familia Durán Peralta por hacerme sentir una integrante más, brindarme su apoyo, amistad y buenos consejos que siempre hacen falta.

A mis amigos Aldo, Adolfo, Yajaira, Sergio, Julio, Hector por ayudar a superarme y recorrer conmigo una parte del camino.

A todas aquellas personas que sin decírmelo depositaron su confianza en mí y con pequeños detalles hicieron un cambio en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el otorgamiento de beca para mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por permitirme ser parte de su comunidad y brindarme, a través de sus docentes, enseñanzas académicas y profesionales.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)** a través del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENIDFyMA) dirigido por el **Dr. César Augusto Mejía Guadarrama** por permitirme realizar todo el proceso experimental así como los correspondientes análisis de laboratorio.

Al **Colegio de Postgraduados** por brindarme la oportunidad de recibir clases a través de su planta docente así como a la **Dra. María Magdalena Crosby Galván** por su valioso apoyo en la realización de análisis en el Laboratorio de Nutrición Animal para complementación de mi trabajo.

A mi tutor **Dr. José Antonio Cuarón Ibargüengoytia** e integrantes de mi comité tutorial **Dr. Germán Buendía Rodríguez** y **Dr. Germán David Mendoza Martínez** por sus acertados y valiosos comentarios en cada evaluación tutorial y por sus revisiones a mis escritos, que han contribuido en mi formación académica.

A **mis colegas** que me apoyaron en el transcurso del proceso experimental y análisis de muestras Adriana, Aidee, Ana, Karina, Paulina y Laura, gracias!.

A **Edgar** porque gracias a su habilidad en los procesos informáticos me ayudó a salir adelante en mis evaluaciones tutorales.

Nuevamente al **Dr. Germán Buendía** por las excelentes experiencias académicas en los lugares que visité (Mérida, Villa Hermosa, Puerto Vallarta, Iguala, Papantla, Tuxpan, Tlatlauquitepec, Pachuca, Tulancingo, Querétaro, Salamanca, Celaya, Cuautla, Cacahuamilpa, León, Toluca, Tampico y Texcoco) ya que han contribuido en mi formación.

UTILIZACIÓN DEL GRANO DE CANOLA EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS: DIGESTIBILIDAD, COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE CANAL

RESUMEN

El uso de la canola integral es limitado pues en el proceso de molienda hay mermas significativas que evitan su uso en la alimentación animal. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un proceso que permitiera incluir el grano de canola integral mezclado con un ingrediente absorbente en la dieta de rumiantes. Para ello primero se elaboraron mezclas a distintas proporciones (100:0, 75:25, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 y 10:90) con granos de maíz y/o sorgo (absorbentes) para evaluar las pérdidas de material por efecto del contenido de aceite del grano de canola durante dos procesos de molienda (100 g y 30 kg). Se determinó el tamaño de partícula para todas las muestras, en donde la mayor cantidad de material retenido (61.16%) entre 600 y 1000 μm fue para la combinación 50:50 canola:sorgo con una composición química de 17.29% proteína total, 19.17% extracto etéreo y 5.245 Mcal/kg. La combinación 50:50 se utilizó en una prueba de comportamiento en ovinos en finalización (21 Pelibuey x Texel, peso inicial 32.09 \pm 5.48 kg) por 56 días, el diseño empleado fue completamente al azar con tres tratamientos: 4.6% pasta de canola (testigo), 15% mezcla canola:sorgo (proporción 50:50) y 4.6% testigo + 2.9% aceite de canola, con siete repeticiones cada una. No se encontraron diferencias ($p>0.05$) en consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, digestibilidad aparente de la materia seca ni en las variables de fermentación ruminal, pero si en el porcentaje de digestibilidad aparente de la proteína (67.71^b, 75.90^a y 67.11^b), cenizas (61.30^a, 58.33^b y 49.28^c) y fibra detergente neutro (69.14^b, 75.40^a y 66.69^b). Los ovinos fueron sacrificados para determinar los cambios en la calidad de la canal y de la carne por efecto del aceite de canola. No se encontraron diferencias ($p>0.05$) en rendimiento, características de la canal ni en calidad de la carne, a excepción del color del músculo *Longissimus dorsi* en el índice de L* (42.17^b, 43.62^a y 40.24^c) para pasta de canola, grano de canola más sorgo y pasta más aceite respectivamente; en el color de la grasa perirrenal hubo diferencias ($p<0.05$) entre tratamientos en el índice de a* (11.68^b, 16.56^a y 11.51^b) y b* (15.20^b, 20.28^a y 16.60^b). En conclusión, la combinación de grano de canola más sorgo a proporción 50:50 permite que se incluya en dietas para ovinos en finalización, sin afectar las variables productivas ni características de la canal.

Palabras claves: grano de canola, comportamiento productivo, molienda, ovinos.

USE OF CANOLA GRAIN IN LAMBS FEEDING: DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS QUALITY

SUMMARY

The use of integrated canola is limited because in the grinding process there are significant losses that prevent its use in animal feed. The objective of this work was to develop a process that would include canola grain brown mixed with an absorbent ingredient in the diet of ruminants. For this first mixtures at different proportions (100:0, 75:25, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 and 10:90) they were prepared with corn kernels and/or (absorbers) sorghum material losses evaluate the effect of grain content of canola oil for two milling processes (100 g and 30 kg). The particle size for all samples was determined, where the greater amount of retained material (61.16%) between 600 and 1000 μm was 50:50 for combining canola:sorghum with a chemical composition of 17.29% total protein, 19.17% ether extract and 5,245 Mcal/kg. The combination 50:50 was used in a performance test in finishing lambs (21 Pelibuey x Texel, initial weight 32.09 ± 5.48 kg) for 56 days, the design was completely randomized with three treatments: 4.6% canola meal (control), 15% canola grain mixture:sorghum (50:50 relation) and 4.6% control + 2.9% canola oil. No differences ($p > 0.05$) on dry matter intake, daily gain, feed conversion, apparent digestibility of dry matter or ruminal fermentation variables were found, but in the percentage of protein digestibility (67.71^b , 75.90^a and 67.11^b), ash (61.30^a , 58.33^b and 49.28^c) and NDF (69.14^b , 75.40^a and 66.69^b). Later sheep were slaughtered to determine changes in the carcass quality and meat by the effect of canola oil. No differences ($p > 0.05$) on performance, carcass characteristics or meat quality, except for the color of it in the index of L^* (42.17^b , 43.62^a and 40.24^c) to canola meal, canola grain mixture: sorghum and canola more oil respectively; the color of the perirenal fat there were differences ($p < 0.05$) between treatments in the rate of a^* (11.68^b , 16.56^a and 11.51^b) and b^* (15.20^b , 20.28^a and 16.60^b). In conclusion, the combination of more canola grain sorghum to 50:50 allows the addition of the latter grain in diets for lambs in completion without affecting productive parameters and carcass characteristics.

Keywords: canola grain, productive behavior, milling, lambs.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
CONTENIDO	V
LISTA DE CUADROS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
1.- REVISIÓN DE LA LITERATURA	1
1.1 Importancia mundial de las oleaginosas	1
1.2 Origen y desarrollo de las oleaginosas	2
1.3 Antecedentes, origen y mercado del cultivo de canola	3
1.4 Importancia Nacional	5
1.5 El cultivo del grano de canola	7
1.6 Variedades de canola en México	8
1.7 Composición nutricional del aceite y del grano de canola	8
1.8 Utilización del grano de canola en sistemas de producción animal	9
1.9 Calidad de la carne y perfil de ácidos grasos	10
1.10 Problemática en el aprovechamiento nutricional de los granos	11
1.11 Métodos de procesamiento y su efecto en los granos utilizados en la alimentación animal	12
1.12 Molienda: Ventajas y Consideraciones	13
1.13 Tamaño de partícula de granos utilizados en la alimentación animal	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3. HIPÓTESIS	17
4. OBJETIVOS	17
5. MATERIAL Y MÉTODOS	18
5.1 Fase 1. Procesamiento del grano de canola más sorgo o maíz	18
5.1.1 Prueba de molienda en 100 g	18

5.1.2 Determinación del tamaño de partícula	18
5.1.3 Aceite liberado por el proceso de molienda	19
5.1.4 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	19
5.1.5 Liberación <i>in vitro</i> de nitrógeno amoniacal	20
5.1.6 Análisis químico proximal y de energía en la mezcla canola:sorgo proporción 50:50	20
5.1.7 Prueba de molienda en 30 kg	20
5.2 Fase 2. Comportamiento productivo, digestibilidad aparente de la materia seca, concentración de nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con grano de canola	21
5.2.1 Comportamiento productivo	21
5.2.2 Variables evaluadas	22
5.2.3 Digestibilidad aparente de la materia seca de las dietas experimentales	23
5.2.4 Muestreo de líquido ruminal	23
5.2.5 pH ruminal	23
5.2.6 Concentración de nitrógeno amoniacal	23
5.2.7 Concentración de ácidos grasos volátiles	24
5.2.8 Diseño experimental y análisis estadístico	24
5.3 Fase 3. Rendimiento, calidad de la carne y perfil de ácidos grasos en la canal de ovinos	25
5.3.1 Peso, rendimiento y clasificación de las canales	25
5.3.2 pH, color en músculo <i>Longissimus dorsi</i> y grasa perirrenal	25
5.3.3 Análisis instrumental y sensorial de la carne	26
5.3.4 Perfil de ácidos grasos de cadena larga en músculo <i>Longissimus dorsi</i>	26
5.3.5 Análisis estadístico	26
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1 Fase 1. Procesamiento del grano de canola más sorgo o maíz	27

6.2 Fase 2. Comportamiento productivo, digestibilidad aparente de la materia seca, concentración de nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con grano de canola	32
6.3 Fase 3. Rendimiento, calidad de la carne y perfil de ácidos grasos en la canal de ovinos	35
7. CONCLUSIONES	41
7.1 Fase 1. Procesamiento del grano de canola más sorgo o maíz	41
7.2 Fase 2. Comportamiento productivo, digestibilidad aparente de la materia seca, concentración de nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con grano de canola	41
7.3 Fase 3. Rendimiento, calidad de la carne y perfil de ácidos grasos de la canal de ovinos	41
8. LITERATURA CITADA	42

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Especificaciones del grano de canola.	4
Cuadro 2 Paquete tecnológico para el cultivo de canola, ciclo otoño-invierno.	7
Cuadro 3 Composición nutricional del grano y aceite de canola.	9
Cuadro 4 Porcentajes de inclusión y nutrientes calculados de las dietas experimentales para ovinos en finalización.	22
Cuadro 5 Prueba de molienda en 100 g de la mezcla canola:sorgo o maíz.	27
Cuadro 6 Tamaño de partículas (μm) en mezclas molidas de canola:sorgo o maíz (%).	28
Cuadro 7 Variables de tamaño de partícula para la mezcla canola:sorgo o maíz proporción 50:50	29

Cuadro 8	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (%) y parámetros de cinética ruminal del grano de canola y sus combinaciones con sorgo o maíz.	30
Cuadro 9	Concentración de nitrógeno amoniacal (mg/dl) en el grano de canola y sus combinaciones con sorgo o maíz.	31
Cuadro 10	Análisis químico proximal y de energía de la mezcla canola:sorgo proporción 50:50.	31
Cuadro 11	Prueba de molienda de la mezcla canola:sorgo 50:50.	32
Cuadro 12	Análisis químico proximal y de energía de las dietas experimentales.	32
Cuadro 13	Comportamiento productivo de ovinos en finalización.	33
Cuadro 14	Digestibilidad aparente de nutrientes (%) de las dietas experimentales.	34
Cuadro 15	Variables microbiológicas en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con pasta, grano y aceite de canola.	35
Cuadro 16	Rendimiento y características de la canal de ovinos.	35
Cuadro 17	Color de la carne de ovinos.	36
Cuadro 18	Color de la grasa perirrenal de ovinos.	37
Cuadro 19	Variables de calidad instrumental en la carne de ovinos.	38
Cuadro 20	Concentración de ácidos grasos libres de cadena larga en músculo <i>Longissimus dorsi</i> de ovinos.	39

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Dimensiones y mecanismo para determinar la cantidad de aceite liberado en granos molidos de canola más sorgo o maíz	19
Figura 2	Volumen de aceite liberado de las mezclas canola:sorgo o maíz	29

1.- REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.1 Importancia mundial de las oleaginosas

Las oleaginosas son cultivos indispensables y con valor agregado por su versatilidad, ya que de un solo grano o semilla, es posible obtener varios productos como aceite y proteína vegetal (pastas) (INDOLEA, 2015). El diagnóstico que se presenta a continuación se refiere a la cadena productiva de oleaginosas, aceites y grasas que resultan del proceso de extracción del aceite de los granos de oleaginosas y su posterior proceso de refinamiento. Esta cadena se inicia con la siembra, cultivo y cosecha de oleaginosas. La fase industrial comprende:

- a) Extracción de los aceites crudos y otros subproductos que se utilizan en diferentes industrias.
- b) Refinación, mezcla y posterior hidrogenación de los diversos aceites crudos obtenidos en la etapa anterior.

El sector de aceites y grasas es importante dentro del conjunto de la industria de alimentos, debido a los vínculos que los productos de este sector tienen tanto en la propia industria de alimentos como con otras actividades productivas. Un primer vínculo se establece con la industria procesadora de alimentos balanceados para animales a través de pastas y cascarillas obtenidas de los granos y frutos oleaginosos en el proceso industrial de extracción del aceite; y el otro es el empleo de los ácidos grasos o residuos obtenidos de los diversos aceites crudos durante el proceso de su extracción como insumo en la industria jabonera y de artículos de tocador. Por último, la cadena tiene vínculos con industrias tan diversas como panadería, galletería, encurtidos, confitería, chocolatería y farmacéutica entre otras (Villamil y Nieto, 2003).

En términos absolutos, las oleaginosas (soya, cártamo y canola) subieron de precio, sin embargo, con relación al incremento en los precios de los cultivos que se pretenden sustituir: trigo, sorgo y maíz, las oleaginosas quedaron en desventaja, pues se fijaron los factores en niveles que no guardan diferencia mínima entre los cultivos que los haga indiferentes al productor de sembrar uno u otro. El incremento en los factores de equivalencia maíz, crecieron más en los cultivos de trigo (19.26%)

y sorgo (10.53%), respecto a las oleaginosas soya (10.49%), canola (1.41%) y cártamo (0%). En estas condiciones, los niveles actuales de ingreso objetivo alientan al productor a seguir sembrando granos básicos y en ninguna forma se incentiva la siembra de oleaginosas. Ante tal escenario, se requiere un esquema con el que se equilibren los factores de equivalencia, que hagan indiferente al productor sembrar uno u otro cultivo, privilegiando de esta manera tanto la vocación natural de la tierra, como la competencia por esta entre las industrias compradoras de granos y oleaginosas, lo cual favorecerá en un mejor precio para el productor por sus cosechas (CONASIPRO, 2009).

Las plantas oleaginosas constituyen uno de los grandes grupos de cultivos de mayor producción, investigación, experimentación y comercialización a nivel mundial; por ser plantas útiles, cuyas semillas, granos o frutos tienen un alto porcentaje de ácidos grasos y proteínas de alta calidad. Diez son los cultivos que en la actualidad son los de mayor producción y cotizados en los mercados de todo el mundo: soya, canola, cártamo, algodón, girasol, olivo, maíz, lino, cacahuate y ajonjolí. Para el Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas, los cultivos de interés son soya, canola, cártamo y girasol, mismos que forman parte del Programa Nacional de Producción de Oleaginosas 2007-2012, con los que se buscó fomentar la producción nacional, con el fin de sustituir las importaciones de estos granos.

1.2 Origen y desarrollo de las oleaginosas

Cinco de las diez oleaginosas más importantes en el comercio mundial: maíz, algodón, cacahuate, girasol y una variedad de colza o canola, conocida como alpiste; de acuerdo con Vavilov (2000), son plantas originarias de Mesoamérica, región geográfica y cultural que abarca México y parte de Centroamérica, lo cual significa que México cuenta con tierras que presentan condiciones agroecológicas adecuadas para el cultivo de oleaginosas y cuenta también con germoplasma indispensable para la conservación e hibridación de nuevas especies. No obstante, aún con la ventaja que tiene México de ser un país con oleaginosas silvestres, el consumo de aceite líquido da inicio durante la Colonia, y la extracción comercial de aceite prácticamente inicia en el siglo XIX.

Cada uno de los cultivos de plantas oleaginosas se realiza en condiciones agroecológicas específicas y suelen existir marcadas diferencias socioeconómicas entre los agentes que los producen. La mayor parte de estos cultivos son anuales, tienen respuesta relativamente rápida ante cambios en el entorno económico y la mayoría de los productos alimenticios elaborados con una oleaginosa pueden utilizar casi cualquier otro tipo de oleaginosa, sin que se presenten cambios en la composición, sabor y textura del producto; es decir, son intercambiables o de fácil sustitución.

Estas tres características del cultivo: agroecológicas, económicas y fácil sustitución, hacen de las oleaginosas productos necesarios en la economía mundial, sumamente interesantes y atractivos para productores, industriales y consumidores; pero también, presentan cierto grado de riesgo en toda la cadena productiva, porque entran en un mercado de producción, distribución y precios muy competitivos (CONASIPRO, 2009).

1.3 Antecedentes, origen y mercado del cultivo de canola

Inicialmente la canola se cultivó como un producto oleaginoso y ha formado parte de algunas culturas por miles de años. Las civilizaciones antiguas en Asia y Europa utilizaron el aceite de canola como combustible en lámparas, posteriormente se usó en alimentos y como aceite para cocinar. La necesidad para la producción de canola canadiense surgió a principios de la década de los 40's, debido a la escasez de aceite por el bloqueo durante la Segunda Guerra Mundial de las fuentes europeas y asiáticas de este producto. El aceite se necesitaba como lubricante en un gran número de motores a vapor de los barcos navales y mercantes.

Posteriormente se desarrolló en Canadá a partir de la colza, mejorando sus cualidades nutritivas. La canola es una variante dentro de las especies *Brassica napus* y *Brassica rapa*, conocidas comúnmente como colza, mostaza o nabo aceitero, la cual fue mejorada genéticamente para reducir el contenido de ácido erúxico en el aceite y de glucosinolatos en la pasta, para ser aprovechada en alimentación humana y animal. En 1978, la Industria Canadiense del Nabo, adoptó el nombre de "Canola" (Canadian Oil Low Acid), que se define como un aceite que

debe contener menos del 2% de ácido erúxico y la pasta menos de 30 μ moles de glucosinolatos por gramo (Canola Council of Canada, 2014).

La mayoría de los países que importan el grano de canola de Canadá lo hacen por el aceite que es el componente más valioso. Muelen el grano y después, por lo general, usan la pasta que producen para la industria de alimentos balanceados en sus propios países. China es la excepción. En los últimos años, China ha aumentado considerablemente su importación de grano de canola como resultado de la demanda del aceite. Buena parte de la pasta que queda después de la extracción se exporta, principalmente a otros países de Asia. China exporta también una gran cantidad de pasta producida localmente.

Los principales productores de canola son Canadá, Australia y algunos países de la Comunidad Europea. Actualmente, México está desarrollando la tecnología del cultivo en algunos estados del país (Jalisco, Estado de México, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala y Michoacán).

Cuadro 1. Especificaciones del grano de canola.

	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
	Grado I	Grado II	Grado III
Impurezas, máximo (%)	2	3	4
Grano dañado, máximo (%)	1	3	5
Humedad, máximo (%)	8	9	10
Aceite, mínimo (%)	42	40	40
Ácido erúxico, máximo (%)	2	2	2
Granos verdes, máximo (%)	2	6	20
En la pasta del grano			
Glucosinolatos, máximo (μ mol/g)	30	30	30

(Adaptado de CONASIPRO, 2009)

La canola es una oleaginosa requerida en México para cubrir la demanda de la industria aceitera nacional; la drástica caída en la producción de oleaginosas en México ha provocado que durante los últimos siete años para cubrir la demanda, en

promedio se importa el 96% de estos granos; tan sólo de canola anualmente se importan aproximadamente un millón de toneladas.

Particularmente, el grano de canola posee un contenido de aceite de alta calidad para el consumo humano; es un aceite constituido por 60% de grasas monoinsaturadas y muy bajo contenido de grasas saturadas, lo que está definido en un excelente balance de ácidos grasos.

A través de la molienda de granos de oleaginosas, como canola, soya, cártamo y girasol, usando métodos de extracción mecánica y por solventes, podemos obtener aceites vegetales de alta calidad. Este compuesto orgánico está presente en muchos de los alimentos procesados que se consumen en el mundo. Por su alto contenido de aceite en el grano (40-44%), la canola se usa principalmente para la obtención de aceite comestible mediante procesos de trituración y de extracción.

Aceite de canola: Es obtenido del grano de canola por medio de extracción mecánica y por solventes, al final es refinado. Es uno de los aceites más sanos que ha producido la naturaleza por su bajo contenido de grasa saturada (7%) y el aporte de ácidos grasos esenciales omega 3 y 6. De sabor insípido, permite que en la preparación de los alimentos no modifique el sabor de los mismos, es empleado para la elaboración de frituras, margarinas, aderezos, jabones y cosméticos.

Pasta de canola: Es un producto obtenido de la molienda de granos de canola. Se usa comúnmente en la elaboración de alimento balanceado en todo el mundo, los mercados más importantes son el avícola, porcícola y ganadero. La pasta de canola representa la segunda fuente de proteínas que más se vende después de la pasta de soya (INDOLEA, 2015).

1.4 Importancia Nacional

Para el 2006 el consumo nacional aparente de granos de oleaginosas fue de 5.5 millones de toneladas, de las cuales se produjeron en el país sólo 0.5 millones que a su vez representa el 9%. De las importaciones de oleaginosas realizadas en el 2006, el 91% (5 millones de toneladas) correspondieron a soya y canola. De esta última oleaginosa se importaron 1.2 millones de toneladas, lo que indica el tamaño

del mercado interno actual para este producto y una gran oportunidad para fomentar su producción.

El importe total de las importaciones de granos de oleaginosas, aceites, grasas y pastas significó una fuga de divisas de 2,423 millones de dólares, lo que coloca a las granos y productos oleaginosos como uno de los rubros que más afectan la balanza comercial agrícola de México. Para abastecer la demanda interna de canola sería necesario sembrar aproximadamente 600,000 hectáreas considerando un rendimiento promedio de 2 toneladas por hectárea.

En función del potencial que representa la canola tanto para los agricultores como para los industriales y fabricantes de alimentos balanceados, en años recientes el Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas ha impulsado las siembras comerciales de canola, bajo condiciones de temporal y riego en Sonora, Tamaulipas, Jalisco, Tlaxcala y Puebla, con rendimientos que han fluctuado de 0.5 a 3.5 toneladas por hectárea (CONASIPRO, 2009). Entre 2004 y 2005 se establecieron alrededor de 8,000 hectáreas en Tamaulipas, Sonora, Tlaxcala, Estado de México y Puebla con una producción de 12,000 toneladas aproximadamente. La superficie sembrada con canola el año 2006 fue de 4,359 hectáreas (ANIAME, 2015).

Las oleaginosas estratégicamente más importantes en México, por sus rendimientos y baja demanda de agua son cártamo y canola, ampliamente adaptables como cultivos de invierno-primavera y susceptible de siembra en 8.5 millones de hectáreas en condiciones de temporal, los estados con mayor superficie son: Zacatecas, Chihuahua, México, Puebla, Durango, Guanajuato, Michoacán, Hidalgo y San Luis Potosí, más otros 4 millones de hectáreas en condiciones de riego, que en conjunto representan el 80% del área potencial de canola. Los cinco principales estados con un potencial excelente en base a superficie encontrada son: Tamaulipas (497,234 hectáreas), Guanajuato (422,733 hectáreas), Sonora (417,437 hectáreas), Coahuila (314,704 hectáreas) y Sinaloa (149,060 hectáreas) (INDOLEA, 2015).

1.5 Cultivo del grano de canola

Por su bajo requerimiento hídrico, ciclo de cultivo relativamente corto, resistencia a heladas, bajo costo de producción y mercado seguro del grano; el cultivo de canola es una excelente alternativa para la conversión productiva en valles altos de México (principalmente en Estado de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo) y puede usarse como oleaginosa en la rotación de cultivos de primavera-verano, como forrajera y melífera durante todo el año, con posibilidades de hacer aprovechamientos adicionales en siembras comerciales (Ortegón y col., 2006).

La canola es un cultivo de clima templado cuyo mejor desarrollo ocurre entre los 12 y 30°C, con un óptimo de 21°C y una temperatura mínima de 5°C, a la cual se detiene el desarrollo (Ortegón y col., 2006). Tiene tolerancia a bajas temperaturas y granizo sobre todo durante la fase vegetativa del cultivo e inclusive en floración, sin embargo, puede ser afectada durante la etapa de llenado de grano. En cuanto a uso y manejo del agua, se indica que la canola tiene los mayores rendimientos cuando se mantiene el suelo a un mínimo de 50% de humedad. La mayor demanda de agua se da de la etapa de floración ha llenado de grano (Canola Council of Canada, 2014).

Cuadro 2. Paquete tecnológico para el cultivo de canola, ciclo otoño–invierno.

	Condición de humedad	
	Riego	Temporal
Costo de producción, (\$/ha)	5,166.00	3,389.00
Rendimiento esperado, (kg/ha)	De 2500 a 2800	De 1500 a 2000
Ingreso bruto, (\$/ha)	De 11,362 a 12,726	De 6,817 a 9,090
Precio del grano de canola, (\$/ton)	4,545.00	

(Adaptado de Hernández y col., 2008)

Sidlauskas y Bernotas (2003) señalaron que el genotipo y la temperatura durante la etapa reproductiva son los principales factores que afectan la producción y el contenido de aceite en el grano; el rendimiento en este cultivo depende de factores genéticos, ambientales y agronómicos, así como de la interacción entre éstos.

Según Ortegón (2003) la producción de canola es factible en regiones con precipitaciones de 200 mm durante el desarrollo del cultivo. La alta densidad de población y el método de siembra en hileras no es factible para México, principalmente por el costo de la semilla debido a la dependencia actual de cultivares extranjeros. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ha generado tecnología para la siembra en surcos con 1.2 a 2 kg por hectárea de semilla, sistema que permite el control de la maleza, además incrementa la rentabilidad del cultivo (Ortegón y col., 2007).

1.6 Variedades de canola en México

A partir del ciclo 2005-2006 se inició el programa de mejoramiento genético de canola en INIFAP con el objetivo de desarrollar variedades mexicanas adaptadas a las condiciones agroecológicas del país. En México existen cerca de 20 variedades de canola y sus rendimientos por hectárea van desde los 820 hasta los 3200 kg (Ortegón y col., 2006; Hernández y col., 2008).

1.7 Composición nutricional del aceite y del grano de canola

Los valores de nutrientes fundamentales para el aceite y el grano de canola están en el Cuadro 3. La mayoría de los valores de nutrientes del grano de canola se pueden calcular a partir de los valores de nutrientes en la pasta y el aceite, sabiendo que aproximadamente el 57% del grano es pasta y el 43% es aceite. La excepción es el contenido de energía, porque el valor de energía del grano de canola no se puede calcular de manera confiable simplemente sumando los valores para el aceite y la pasta. Esto se debe probablemente a que el grano entero de canola no se procesa al mismo grado que el aceite y la pasta y por ello, no se digiere de igual forma. Para aumentar su digestibilidad de energía, con frecuencia se usa un tratamiento de calor y la reducción del tamaño de la partícula del grano de canola por micronización, extrusión o expansión (Canola Council of Canada, 2014).

Cuadro 3. Composición nutricional del grano y aceite de canola.

Nutriente	Aceite	Grano
Materia seca, (%)	0	93
Proteína total, (%)	0	20
Aceite, (%)	100	43
Fibra, (%)	0	7.2
Rumiantes EN mantenimiento, (Mcal/kg)*	5.65	3.05
Rumiantes EN ganancia, (Mcal/kg)*	3.89	2.21
Rumiantes EN lactancia, (Mcal/kg)*	5.65	3.27
Ácido linoleico (C18:2), (%)	21.0	9.0
Ácido linolénico (C18:3), (%)	12.0	5.1

TND=Total de nutrientes digestibles, EN=Energía neta, *NRC, 2001

(Canola Council of Canada, 2014)

1.8 Utilización del grano de canola en sistemas de producción animal

En cerdos, el grano de canola se da como fuente de proteína y energía aunque por lo general se limita a 10% de inclusión en la dieta puesto que los niveles elevados van a resultar en una grasa más blanda en la canal (Kracht *et al.*, 1996). El grano de canola se debe moler antes de darse como alimento. La pasta de canola es una fuente de proteína de muy buen sabor para los rumiantes. Spordly y Asberg, (2006) examinaron el sabor de las fuentes de proteína comparando la velocidad y preferencia del alimento en vaquillas.

En un estudio de digestibilidad *in vivo* en borregos realizado por Grenet y Barry (1990) demostraron que casi la mitad de las células que componen el tegumento de los granos de canola no son degradables por los microorganismos ruminales, lo que dificulta el aprovechamiento de los nutrientes contenidos en el grano por lo que es necesario la ruptura del mismo mediante un proceso que pueda facilitar su degradación.

Anderson-Hafermann *et al.* (1993) reportaron que durante el procesamiento para la obtención de pasta de canola mediante el uso de vapor, la digestibilidad de la proteína disminuyó a medida que la temperatura a la que la pasta se procesó

aumentaba. Goh *et al.* (1982) mencionan que la disponibilidad de la lisina se incrementó por el procesamiento con vapor, De Lange *et al.* (1998) demostraron que el descascarado reduce el contenido en fibra y aumenta la digestibilidad de nutrientes y aminoácidos.

1.9 Calidad de carne y perfil de ácidos grasos

Como oleaginosa, la canola produce uno de los mejores aceites vegetales en términos de calidad para la nutrición y salud humana, tal calidad está determinada por un equilibrio ideal de sus componentes: contiene casi el 50% de ácidos grasos saturados que el aceite de oliva, girasol y maíz; 59% de ácidos grasos monoinsaturados y cerca de 30% de ácidos grasos poliinsaturados, de los cuales 20% es ácido linoleico (omega 6) y 9% ácido linolénico (omega 3) (CONASIPRO, 2009).

Los lípidos son considerados como un grupo de compuestos orgánicos insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos (por ejemplo éter y cloroformo), con una estructura química formada por una cadena hidrocarbonada como parte principal de la molécula, y se encuentran o se derivan de organismos vivos (Kolakowska y Zdsislaw, 2011). La forma más eficiente para acumular energía en el organismo, es a partir de grasa, particularmente en forma de triglicéridos. Los triglicéridos están formados por una molécula de glicerol y una, dos o tres moléculas de ácidos grasos, los cuales se pueden identificar como saturados (mirístico, palmítico y esteárico) e insaturados (palmitoleico, oleico, linoleico y linolénico) dependiendo si existen o no dobles enlaces en su estructura, en el caso de rumiantes en circunstancias normales, se producen en cantidad suficiente por la fermentación microbiana. Los ácidos grasos con una doble ligadura se denominan monoinsaturados y los que tienen más de una doble ligadura poliinsaturados. Dependiendo del número del carbono donde se encuentren las dobles ligaduras (contando a partir del carbono terminal más cercano a la doble ligadura), se denominan omega 3, 6 ó 9. Los lípidos complejos, son aquellos que se asocian con otro tipo de compuestos, estos incluyen a los fosfolípidos, los glucolípidos y los sulfolípidos.

Los lípidos de la carne se encuentran principalmente en el tejido adiposo y en la grasa intramuscular. En el tejido adiposo se localizan principalmente triglicéridos, mientras que en el tejido intramuscular se encuentran triglicéridos y grasas ligadas a la membrana como fosfolípidos y lipoproteínas (Pegg and Shahidi, 2000). Entre menor es el contenido de grasa intramuscular, mayor es la proporción de fosfolípidos de membrana y menor el de triglicéridos.

La carne de bovino tiene mayor contenido de ácidos grasos saturados que la carne de cerdo o de ave, y una baja cantidad de ácidos grasos poliinsaturados debido a la biohidrogenación bacteriana de los ácidos grasos en el rumen, lo que hace más difícil manipular el perfil de ácidos grasos en el tejido muscular de esta especie. Algunos autores demostraron una alta eficiencia en la absorción de ácidos grasos en rumiantes en comparación con los animales no rumiantes. En general, el coeficiente de rangos de absorción intestinal está entre 80% para ácidos grasos saturados a 92% para ácidos grasos poliinsaturados en dietas convencionales bajas en grasa (2 a 3% de materia seca) (Bauchart, 1993).

1.10 Problemática en el aprovechamiento nutricional de los granos

La eficiencia en la extracción de los nutrientes en los alimentos y su posterior utilización por el ganado producido comercialmente, a menudo está muy por debajo de su potencial. Existen numerosos factores que contribuyen a este déficit, dos de ellos son: la forma en la que son preparados (molido, mezclado, hojueado, extrusión o pelletizado) y ofrecidos éstos alimentos a los animales. En los últimos años la competencia global ha puesto una presión considerable sobre la economía de la producción ganadera comercial. De los diversos factores dentro de la ecuación de beneficio, el productor tiene la mayor influencia sobre el costo del componente de producción. Lo que se destaca es el costo de la alimentación y la utilización de nutrientes para la eficiencia en la conversión alimenticia (Edwards, 1999).

Los requerimientos de nutrientes para la síntesis de tejido en la mayoría de las especies de rumiantes han sido bien establecidos y los complejos mecanismos fisiológicos de éstos se han abordado con el desarrollo de varios modelos de simulación (Black *et al.*, 1986).

El problema para los nutricionistas en la aplicación comercial es el traslado de los requerimientos tisulares dentro de los requerimientos dietarios que puedan adaptar las variables: eficiencia en la extracción y utilización de nutrientes que se producen con diferentes alimentos, métodos en la preparación de alimentos y estrategias en el manejo de la alimentación. El éxito de la eficiencia en la utilización de los nutrientes de los alimentos requiere una valoración de las capacidades digestivas del rumiante (preparación del alimento para acelerar la extracción de nutrientes) y de sus características de crecimiento (los nutrientes pueden ser liberados maximizando la eficiencia productiva). Aunque varias especies de animales han desarrollado mecanismos para romper físicamente los alimentos (masticación o molienda en la molleja) la eficacia en la preparación de algunos alimentos para la digestión posterior es pobre. En consecuencia, para garantizar un alto nivel en la utilización de los nutrientes de los granos, diversos procedimientos de tratamiento se emplean antes de su incorporación en la formulación de dietas. Dado que la digestión de la mayoría de los alimentos para animales implica la hidrólisis enzimática, el propósito principal de procesamiento es facilitar el acceso de la enzima a los sustratos (Edwards, 1999).

1.11 Métodos de procesamiento y su efecto en los granos utilizados en la alimentación animal

Incluyen tratamientos físicos, químicos y/o térmicos antes de su consumo por los animales. La calidad de la materia prima utilizada en la fabricación de los alimentos es uno de los factores clave que se requieren para producir alimento de alta calidad. Esto es porque, el valor nutritivo del alimento depende de la composición química de los ingredientes utilizados. El valor nutritivo puede ser ampliamente definido como la capacidad de un alimento para proporcionar los nutrientes requeridos por un animal para su mantenimiento, crecimiento y reproducción (Corley *et al.*, 1997). A menudo, se aplican con el fin de lograr ciertos objetivos específicos tales como: gelatinización del almidón, desnaturalización de la proteína, inactivación de factores antinutricionales (enzimas endógenas, inhibidores de tripsina), secado/enfriamiento

y conformación. Estos cambios químicos tienen una tarea principal, mejorar el valor nutricional y aumentar la digestibilidad de los alimentos (Rakic, 2012).

Los efectos de procesamiento dependen de la composición química de la materia prima utilizada, temperatura aplicada, vapor aplicado, y tiempo de retención. Muchos procesos implican aumento de la temperatura y adición de agua (en forma de vapor). Esto da lugar a cambios físicos y químicos de los ingredientes de los alimentos como el tamaño de las partículas y la estructura molecular de los componentes de la alimentación, que puede tanto, aumentar como disminuir el valor nutricional de la alimentación (Medel *et al.*, 2004).

Durante el procesamiento para la reducción de tamaño de partícula, el almidón es más sensible a la hidrólisis (Champ y Colonna, 1993). La disponibilidad y digestibilidad de la proteína de trigo se mejora cuando el tamaño de partícula se reduce debido a la ruptura de las células de aleurona y por lo tanto la liberación del contenido de proteínas (Saunders *et al.*, 1969).

1.12 Molienda: Ventajas y Consideraciones

Es la reducción de tamaño de las materias primas realizado en un molino, lo que tiene consecuencias en la reducción del tamaño de partícula, disminuye la segregación, mejora la digestión y facilita otros procesos como la granulación o extrusión. Según Svihus (2009) la molienda provoca:

- ~ Aumento en la superficie y por lo tanto mejora la digestión.
- ~ Al aumentar la superficie mejora la capacidad de unión entre las partículas.
- ~ Mejora en el mezclado de los ingredientes.
- ~ Eliminación de la capacidad de germinación.
- ~ Aumento de homogeneidad de las partículas.

En su forma más simple se trata de romper la cubierta de la semilla para exponer el endospermo amiláceo y en muchas situaciones esto es todo lo que se requiere. Sin embargo, hay muchas otras barreras que niegan a las enzimas el acceso a los sustratos y estos requieren tratamientos con procesos más exhaustivos. Su valor nutritivo es afectado significativamente por la condición de procesamiento que lleva a cambios en la composición química y el comportamiento físico de estos materiales

(Tilden, 1995). El tamaño de partícula óptimo está influenciado por muchos factores, incluyendo:

- ~ Tipo de grano.
- ~ Especie animal alimentada.
- ~ Edad fisiológica del animal.
- ~ Otros procesos implicados (expansión, granulación, desmoronamiento, alimento húmedo).
- ~ Incidencia de trastornos gastrointestinales.
- ~ Incremento en el costo de molienda en relación con el beneficio adicional derivado.
- ~ Influencia sobre palatabilidad y consumo de alimento.
- ~ Cambios en las características de la manipulación física (puente en silos, resistencia a la adición de grasa).
- ~ Nivel de polvo respirable y sus efectos en la salud animal y humana.
- ~ Y en los rumiantes, porcentaje de inclusión en la dieta, velocidad de fermentación y sitio favorecido para la digestión.

Los beneficios de la molienda fina entre otras son: mejora la digestibilidad y mayor durabilidad de pellets, por otro lado deben considerarse los efectos negativos tales como: incremento exponencial de la energía eléctrica necesaria para la más fina molienda, incidencias en trastornos gastrointestinales (dilataciones gástricas, torsiones intestinales, enterotoxemia, prolapso), dificultades físicas de manejo (formación de puente, mala distribución de la grasa añadida) e irritación respiratoria por polvo.

El logro en la eficiencia de la producción ganadera comercial puede ser difícil de alcanzar. De los muchos factores que pueden afectar la eficiencia, el más importante es la nutrición. Su objetivo principal es la síntesis de tejido y económicamente es el componente dominante en el costo de producción. Con la doble presión del aumento de la competitividad global y recursos alimenticios limitados, la necesidad de maximizar la utilización de nutrientes de los alimentos comerciales es crucial. Con un conocimiento detallado de la composición de los alimentos, los requerimientos, los límites digestivos y el procesamiento de alimentos

pueden ser manipulados para lograr la máxima utilización de los nutrientes contenidos en los alimentos (Edwards, 1999).

1.13 Tamaño de partícula de los granos utilizados en la alimentación animal

El tamaño de las partículas de grano molido desempeña un papel crítico en la determinación de la digestibilidad de los alimentos, homogeneidad de la mezcla y granulación. Por lo tanto, la evaluación periódica del tamaño de partícula es un componente necesario en un programa para el aseguramiento de la calidad en la fabricación de los alimentos (Baker y Herrman, 2002).

El tamaño de partícula juega un papel importante para la mejora de la eficiencia en la utilización del alimento y como consecuencia, en el comportamiento productivo de los animales e influye en la interacción con las enzimas digestivas, consumo voluntario, algunas propiedades tecnológicas de los alimentos (estabilidad, homogeneidad y segregación de ingredientes). La medición del tamaño de partícula del material a granel en la fabricación de alimentos balanceados se realiza generalmente mediante el análisis de tamizado clásico basado en el uso de tamizadoras electromagnéticas (Campagnoli *et al.*, 2009).

Un factor que influye en el tamaño de partícula es el tipo de molino empleado (martillo vs rodillo), los molinos de rodillos producen partículas más uniformes y este atributo ha demostrado mejorar la digestibilidad, independiente del tamaño medio de partícula (Wondra *et al.*, 1995).

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los subproductos de oleaginosas son importantes en las dietas de los animales, convencionalmente se usa pasta de soya derivados de la extracción de aceite, siendo este el principal subproducto y el objeto de siembra de las oleaginosas. En la industria de alimentos balanceados no se cuenta con alternativas para usar los recursos derivados de otras oleaginosas de interés para el país, como el grano de canola, por lo que se generan dependencias del sector pecuario a productos derivados de la importación de soya, ingredientes energéticos (aceites) y proteicos (pastas de) quizá porque se incorporan fácilmente en los sistemas de alimentación y formulación de los mismos; así como dependencias del proceso de extracción de aceite para la obtención de las pastas, generando una alta demanda a la industria aceitera y no confluyen al mercado directo (pecuario o de biocombustibles) por fenómenos de proceso y de mercado (incluyendo ignorancia y recelo a la innovación) esto se atribuye al desconocimiento de productos y procesos para el aprovechamiento de los nutrientes sin afectar la calidad tecnológica de los productos terminales (comportamiento productivo, calidad de la canal y la carne y productos procesados a partir de su grasa y carne) problemas que se derivan primero, por las características morfológicas del grano, las cuales hacen necesario su procesamiento antes de ser incluidas en los alimentos y segundo por el alto contenido de ácido graso linoleico en el aceite de los granos. Estas dependencias crean condiciones de mercado desfavorables al no existir ingredientes producidos nacionalmente y que sean alternativos, económica y tecnológicamente viables. Los granos de canola, cártamo y girasol no requieren de un proceso térmico como sucede con la soya, lo que facilita la incorporación en los alimentos para la dieta de los animales. Sin embargo, el proceso de molienda para la incorporación en la dieta se dificulta por el contenido de aceite, originando pérdidas por apelmazamiento (con alto valor energético) y causando obstrucción de los molinos, pero es posible incorporar en la molienda “absorbentes” como los granos de cereales, forrajes (fibra) para reducir dichas pérdidas, posibilitando así mejorar la calidad de los alimentos resultantes.

3.- HIPÓTESIS

La inclusión de grano de canola más grano de sorgo en dietas para ovinos en finalización será igual o mejor que la dieta a base de pasta de canola más aceite en las variables de comportamiento productivo y microbiológicas ruminales además de calidad de canal y calidad de carne.

4.- OBJETIVOS

- Determinar el ingrediente que servirá como absorbente y la proporción con la cual se le asociará al grano de canola, tomando en cuenta la cantidad de material retenido en el proceso de molienda.
- Determinar el tamaño de partícula del producto resultante (asociación del grano de canola con su absorbente).
- Determinar el contenido de proteína total, fibra detergente neutro y ácida, materia seca, cenizas, extracto etéreo y energía total en la mezcla de grano de canola más el absorbente.
- Integrar tres tratamientos: 4.6% pasta de canola (testigo), 15% mezcla grano canola:sorgo (proporción 50:50) y 4.6% testigo + 2.9% aceite de canola, en un sistema de alimentación para evaluar el comportamiento productivo y la digestibilidad aparente de nutrientes de ovinos en finalización.
- Evaluar *in vitro* los patrones de degradación ruminal y concentración de nitrógeno amoniacal en el grano de canola y sus asociaciones con el ingrediente absorbente.
- Medir la concentración de nitrógeno amoniacal, ácidos grasos volátiles y pH en el líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con dietas a base de grano de canola.
- Finalizada la prueba de comportamiento productivo, medir el rendimiento en la canal y la calidad de la carne de los ovinos.
- Determinar el perfil de ácidos grasos de cadena larga en músculo *Longissimus dorsi* de ovinos alimentados con dietas a base de grano de canola.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Fase 1. Procesamiento del grano de canola más sorgo o maíz

Los análisis de molienda fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición y en la fábrica de alimentos, del CENID Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP en Ajuchitlán, Querétaro; ubicado en el km. 1, carretera a Ajuchitlán-Colón. Donde hay una temperatura media anual de 18°C, máxima de 28°C y mínima de 6°C, a una altitud de 1850 msnm y precipitación anual de 530 mm (INEGI, 2000).

5.1.1 Prueba de molienda en 100 g

Se pesaron 100 g de la mezcla grano de canola:sorgo y canola:maíz por triplicado a distintas proporciones (100:0, 75:25, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 y 10:90); posteriormente se homogenizaron las mezclas para hacerlas pasar por un molino (Thomas-Wiley) con criba de 3 mm durante 5 min; se repitió la prueba con grano de maíz en lugar de sorgo en las mismas proporciones y como resultados obtuvimos la cantidad de muestra retenida y recuperada (Cuadro 5).

5.1.2 Determinación del tamaño de partícula

Se hicieron pasar 100 g por triplicado de las mezclas molidas canola:sorgo y canola:maíz a distintas proporciones a partir de 100:0 hasta 10:90 a través de tres tamices con medidas de 1000, 600 y 500 µm en un tamizador (Ro-Tap® Coarse Models Tyler) durante 10 min, posteriormente fueron pesados los tamices para determinar el porcentaje de material retenido en cada uno de ellos utilizando la fórmula:

$$\% \text{Retenido Tamiz } N^{\circ} = \frac{\text{Peso Tamiz con Muestra} - \text{Peso Tamiz}}{\text{Peso Muestra Total}} \times 100$$

En la mezcla canola:sorgo o maíz proporción 50:50 se determinó tamaño geométrico medio (d_{gw}), superficie de área (cm^2/g), partículas por gramo y desviación geométrica media (S_{gw}) utilizando las fórmulas desarrolladas por Baker y Herrman (2002).

5.1.3 Aceite liberado por el proceso de molienda

Inmediatamente después del proceso de molienda se midió el contenido de aceite liberado de la mezcla e impregnado en un papel absorbente durante 48 h, para ello se tomaron 20 g de las muestras molidas de canola:sorgo y canola:maíz a proporciones 100:0 hasta 50:50 por triplicado, el método empleado se ilustra en la Figura 1.

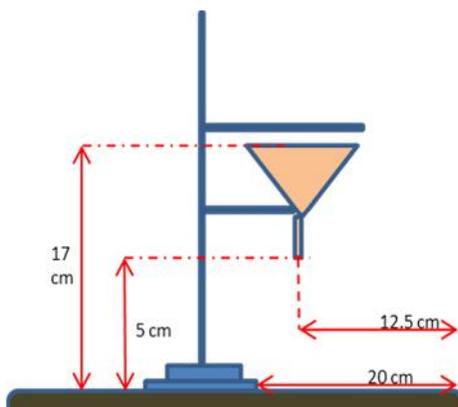


Figura 1. Dimensiones y mecanismo empleado para determinar la cantidad de aceite

5.1.4 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Para la prueba *in vitro* se utilizaron dos borregos Suffolk (35.2 kg PV) canulados en rumen y alimentados con la dieta testigo (Cuadro 4). Los borregos se adaptaron a la dieta durante 15 d, para posteriormente recolectar líquido ruminal utilizando una bomba de vacío. El líquido fue filtrado, colocado en un termo y se le aplicó CO₂.

Se usó la primera fase de la técnica de Tilley y Terry (1963) para medir la digestibilidad *in vitro* de las mezclas canola:sorgo o maíz en tres proporciones (50:50, 60:40 y 70:30), se detuvo la incubación a las 3, 6, 9, 12, 24 y 48 h con dos repeticiones por tiempo. Los resultados se analizaron de acuerdo con un diseño completamente al azar y las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1996).

Para describir la cinética ruminal en la degradación de la MS del grano de canola y sus proporciones con sorgo o maíz en función del tiempo de incubación, fueron

analizados los datos de DIVMS mediante ecuación de regresión en el programa Excel de Microsoft.

5.1.5 Liberación *in vitro* de nitrógeno amoniacal

Se utilizaron 10 ml de líquido ruminal de los recolectados en el paso anterior. Posteriormente las muestras fueron procesadas según la técnica de McCullough (1967) para determinar la concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) mediante absorbancia (630 nm) en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible (VARIAN, Modelo CARY 1-E).

5.1.6 Análisis químico proximal y de energía en la mezcla canola:sorgo proporción 50:50

En el Laboratorio de Nutrición del CENID Fisiología y Mejoramiento Animal se realizó el análisis químico proximal de la mezcla canola:sorgo para determinar la cantidad de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y cenizas siguiendo la técnica propuesta por la AOAC (2001), proteína total (PT) en el equipo Kjeltec (2300 de Foss), fibra detergente neutro y ácida (FDN y FDA) por Goering y Van Soest (1970), extracto etéreo (EE) mediante la extracción con éter de petróleo en el equipo Ankom (XT15 Extractor®) y finalmente energía total (ET) determinada mediante combustión interna utilizando bomba calorimétrica (Parr 6400 Calorimeter).

5.1.7 Prueba de molienda en 30 kg

Con base en los resultados obtenidos en la molienda anterior (Cuadro 5) y tamaño de partícula (Cuadro 6), se procedió a una segunda molienda a mayor escala en la fábrica de alimentos del CENID Fisiología y Mejoramiento Animal donde se vertieron al mismo tiempo 30 kg de la mezcla de grano de canola:sorgo proporción 50:50 en un molino de martillos convencional con criba de 3 mm para determinar el tiempo empleado en la molienda, cantidad de muestra retenida y recuperada; determinando así el ingrediente a utilizar en la prueba de comportamiento.

5.2 Fase 2. Comportamiento productivo, digestibilidad aparente de la materia seca, concentración de nitrógeno amoniacal y de ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con grano de canola

La prueba se llevó a cabo en la Unidad Experimental de Ovinos, el análisis químico proximal y de energía de las dietas en el Laboratorio de Nutrición Animal, del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP, ubicado en el km. 1, carretera a Colón, Ajuchitlán, Querétaro. Donde hay una temperatura media anual de 18°C, máxima de 28°C y mínima de 6°C, una altitud de 1850 msnm y precipitación anual de 530 mm (INEGI, 2000).

5.2.1 Comportamiento productivo

Se utilizaron 21 borregos enteros de la raza Pelibuey x Texel con un peso promedio de 32.09±5.48 kg. Antes de iniciar el experimento los borregos se desparasitaron interna y externamente con 0.5 ml de Ivermectina vía subcutánea; además, se aplicó vitamina ADE (1 ml/animal), fueron identificados y alojados en jaulas individuales (1x1.96 m) con comederos y bebederos.

Los tratamientos fueron: 4.6% pasta de canola (testigo), 15% mezcla canola:sorgo (50:50) y 4.6% testigo + 2.9% aceite de canola (Cuadro 4). Las dietas integrales fueron calculadas isoproteicas e isoenergéticas y se formularon con un programa computacional, de acuerdo con los requerimientos nutritivos establecidos por NRC (2001), para borregos machos enteros con un peso promedio inicial de 30 a 35 kg y una ganancia diaria de peso (GDP) de al menos 200 g. La fase experimental duró 56 días más un periodo de adaptación a las dietas de 14 días.

Para la adición del ingrediente (canola:sorgo 50:50) a la dieta del tratamiento correspondiente, primero fueron dosificados los granos en partes iguales haciéndose pasar al mismo tiempo a través de un molino de martillos convencional con criba de 3 mm para su mezcla homogénea y posteriormente se adicionó a los demás componentes de la dieta (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentajes de inclusión y nutrientes calculados de las dietas experimentales para ovinos en finalización.

Ingredientes	Tratamientos		
	Pasta Canola	Canola:Sorgo	Pasta + Aceite
Sorgo molido	671	567	642
Alfalfa henificada	193	193	193
Canola:Sorgo 50:50	-	150	-
Pasta de canola	46	-	46
Rastrojo de maíz	50	50	50
Aceite de canola	-	-	29
Melaza	20	20	20
Urea	10	10	10
Premezcla vitaminas minerales	10	10	10
Total	1000	1000	1000
Energía metabolizable, (Mcal/kg)	2.73	2.87	2.89
Proteína total, (%)	14.10	14.00	13.90
Fibra detergente ácida, (%)	9.61	9.56	9.47
Fibra detergente neutro, (%)	21.94	21.51	21.42
Materia seca, (%)	86.32	79.58	86.61
Grasa, (%)	2.58	5.48	5.32
Cenizas, (%)	4.17	4.07	4.12
Calcio, (%)	0.54	0.53	0.54
Fósforo, (%)	0.30	0.24	0.29

‡La premezcla mineral Ovinomin® contenía: P, 5.0%; Ca, 13.0%; Mg, 6.0%; S, 0.18%; Na, 16.0%; Cl, 24.0%; Zn, 3,000 ppm; Metionina de Zn, 250 ppm; Mn, 1,100 ppm; Co, 125 ppm; I, 40 ppm; Se, 5 ppm

5.2.2 Variables evaluadas

En muestras de la dieta y heces se determinó MS, cenizas, calcio (Ca) y fósforo (P) siguiendo la técnica establecida por la AOAC (2001), PT con el equipo Kjeltec™ (2300 de FOSS), ET determinada mediante combustión directa en bomba calorimétrica (Parr 6400 Calorimeter) y finalmente FDN y FDA (Mertens, 2002). El

consumo y rechazo de alimento se midió diariamente durante todo el experimento, registrando la cantidad ofrecida y la rechazada; el consumo voluntario se obtuvo por la diferencia entre ambos valores.

Los borregos fueron pesados al inicio del experimento y posteriormente cada siete días en una báscula digital (capacidad 300 kg; precisión 0.05 kg); y la conversión alimenticia (CA) fue calculada con las dos variables previas. La GDP se calculó por diferencia entre el peso final menos el peso inicial dividido entre los días del periodo.

5.2.3 Digestibilidad aparente de materia seca de las dietas experimentales

Se colectaron muestras de heces a los 14, 28 y 42 días de iniciado el experimento utilizando bolsas colectoras en cada animal durante 72 h. Con el total de heces colectadas se formó una muestra compuesta por ovino, de la que se tomó una submuestra del 10% para determinar la cantidad de MS. La DAMS se calculó mediante la siguiente fórmula (Merchen, 1999).

$$\text{Digestibilidad aparente de la MS} = \frac{\text{MS consumida} \left(\frac{g}{d}\right) - \text{MS fecal} \left(\frac{g}{d}\right)}{\text{MS consumida} \left(\frac{g}{d}\right)} \times 100$$

5.2.4 Muestreo de líquido ruminal

Las muestras se recolectaron usando una sonda esofágica conectada a una bomba de vacío, dicha sonda se introdujo en todos los animales de cada tratamiento (100 ml de líquido/animal) a las 2 h post alimentación en el día 48 del experimento.

5.2.5 pH ruminal

Se midió inmediatamente después de colectar el líquido ruminal con un potenciómetro (Orion modelo 710^a), calibrado a pH 7.0 y 4.0.

5.2.6 Concentración de nitrógeno amoniacal

Se utilizó la técnica de McCullough (1967). El líquido ruminal colectado (4 ml) se acidificó con 1 ml de ácido metafosfórico (solución al 25% en agua), la muestra se centrifugó a 14,000 rpm por 5 min y del sobrenadante se transfirieron 1.5 ml a viales

de vidrio. Para determinar la concentración de N-NH₃ se tomaron 20 µl de muestra y se depositaron en tubos de 18x130 mm, en los cuales se adicionó 1 ml de fenol y 1 ml de hipoclorito de sodio con hidróxido de sodio. Los tubos se incubaron a 39°C durante 30 min y se agregaron 5 ml de agua destilada para diluir la muestra. La concentración de N-NH₃ se midió por absorbancia a 630 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer UV-VIS modelo Lambda 40). Se utilizó un blanco como referencia, el cual contenía 1 ml de fenol, 1 ml de hipoclorito de sodio y 5 ml de agua destilada. Para conocer la concentración final de N-NH₃, se comparó con una curva estándar previamente calibrada con nueve concentraciones molares de N-NH₃.

5.2.7 Concentración de ácidos grasos volátiles

Se determinó una vez acidificado el líquido ruminal con ácido metafosfórico a una proporción 4:1 de líquido ruminal:ácido metafosfórico. La mezcla se centrifugó a 14,000 rpm por 15 min y se recolectó el sobrenadante (1.5 ml). La concentración de AGV de las muestras se determinó por cromatografía de gases en un cromatógrafo (Perkin Elmer, Modelo Clarus 500) con columna capilar Elite FFAP. El gas acarreador utilizado fue hidrógeno con flujo de 15 ml/min. Se inyectó 1 µl de muestra, temperatura de inyector de 200°C, detector de 250°C y temperatura de horno de 140°C. El tiempo total por corrida fue de 30 min.

5.2.8 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con siete repeticiones por tratamiento; las variables fueron: CMS, GDP, DAMS, pH ruminal, proporción de AGV y concentración de N-NH₃. Para evaluar el efecto del tiempo se utilizó el procedimiento MIXED (SAS, v 9.2) de acuerdo con lo propuesto por Litell *et al.* (1998) y Wang y Goonewardene (2004).

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \bar{\delta}_i + d_{ij} + t_k + (\bar{\delta}t)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde,

$$Y_{ijk} = \text{variable de respuesta}$$

μ = media general

$\bar{\delta}_i$ = efecto fijo del i-ésimo tratamiento

d_{ij} = efecto aleatorio asociado con el j-ésimo borrego en el i-ésimo tratamiento

t_k = efecto fijo del k-ésimo periodo

$(\bar{\delta}t)_{ik}$ = efecto fijo de la interacción del i-ésimo tratamiento con el k-ésimo periodo

ε_{ij} = error aleatorio asociado con el j-ésimo borrego en el i-ésimo tratamiento al k-ésimo muestreo.

5.3 Fase 3. Rendimiento, calidad de la carne y perfil de ácidos grasos en la canal de ovinos

Los ovinos fueron sacrificados al final del experimento (56 días), en el obrador “El Reno” ubicado en la ciudad de Querétaro.

5.3.1 Peso, rendimiento y clasificación de las canales

Después del eviscerado y desollado de los animales, las canales fueron pesadas y conservadas durante 24 h en una cámara de refrigeración mantenida a una temperatura de 4°C. Pasado este tiempo las canales fueron pesadas para registrar el peso frío de donde se obtuvo el rendimiento comercial en frío (Boccard y Dumont, 1960), se efectuó la clasificación de acuerdo con la Norma NMX-FF-106-SCFI-2006. Para dichas evaluaciones, la canal permaneció suspendida por un gancho separando los corvejones 14 cm.

5.3.2 pH, color en músculo *Longissimus dorsi* y grasa perirrenal

Se tomó una porción del músculo *Longissimus dorsi*, para ello se “cuarteó” la media canal izquierda sobre el espacio intercostal que se encuentra ubicado entre la 12ª y 13ª vértebra torácica para realizar las mediciones de pH, utilizando un potenciómetro portátil (Orion modelo 3-Star) con electrodo de penetración, también se midió el color en músculo y grasa perirrenal empleando un espectrocolorímetro (MiniScan HunterLab Reston, Virginia, USA) que mide los valores de luminosidad

(L*), intensidad de rojo (a*) e intensidad de amarillo (b*) de acuerdo con la metodología propuesta por Honikel (1998).

5.3.3 Análisis instrumental y sensorial de la carne

Se tomó una porción del músculo *Longissimus dorsi et lumborum* comprendida entre las vértebras T11 y L3 para realizar el análisis de la capacidad de retención de agua (CRA), textura (Cañeque y Sañudo, 2005) y composición química (AOAC, 2001). La CRA se midió mediante el método de compresión, en el que se calcula el porcentaje de agua liberada al someter las muestras a una presión específica. Se utilizó un texturómetro (Stable Micro System modelo T-AX Plus) para medir la fuerza de corte. Las muestras que no se utilizaron inmediatamente, se envasaron al vacío y se congelaron a -18°C hasta su análisis posterior.

5.3.4 Perfil de ácidos grasos de cadena larga en músculo *Longissimus dorsi*

Se usó un cromatógrafo de gases (Perkin Helmer Instruments), con una columna analítica Supelco™ 37 (Component FAME Mix, Bellfonte Pa) con las siguientes especificaciones de manufactura: 0.25 mm diámetro interno X 100 m de longitud con un grosor de 0.20 µm. La programación del cromatógrafo gases–masas se inició con temperatura de 120°C cada 2 min y rampa de 10°C por minuto, hasta alcanzar una temperatura de 220°C que se sostuvo por 21 min. La temperatura del puerto de inyección y del detector fue de 250°C. La diferenciación de ácidos grasos se realizó de acuerdo al tiempo de retención y al patrón de elusión que muestra el estándar Supelco™ 37.

5.3.5 Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó con un diseño completamente al azar con tres tratamientos y siete repeticiones. Los datos fueron analizados con el procedimiento GLM de SAS (v 9.2), se compararon las medias de tratamientos usando Tukey.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Fase 1. Procesamiento del grano de canola más sorgo o maíz

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de recuperación de material al moler combinaciones de granos (maíz y sorgo) con grano de canola integral. Con base a los resultados se seleccionó la proporción 50:50 de grano de canola más sorgo para experimentos posteriores (Fase 2) dado que esa mezcla permitió recuperar mayor cantidad después del proceso de molienda, aunque mediante un análisis de regresión ($Y=66.71+0.13\% \text{ Sorgo}-0.0024\% \text{Sorgo}^2$) indicó que con 30% de grano de sorgo se tendría la mayor recuperación. Como se puede observar la diferencia de muestra recuperada entre el valor estimado por regresión y el seleccionado es similar y en términos prácticos así como en plantas de alimentos o unidades de producción es más práctico manejar una mezcla de 50%.

Cuadro 5. Prueba de molienda en 100 g de la mezcla canola:sorgo o maíz.

	Relación Canola:Sorgo				Relación Canola:Maíz			
	Recuperada, (%)	DE	Retenida, (%)	DE	Recuperada, (%)	DE	Retenida, (%)	DE
100:0	66.22	3.99	33.78	4.08	64.13	2.20	35.87	1.83
75:25	68.06	1.84	31.94	2.41	65.35	2.89	34.65	2.77
70:30	67.76	1.03	32.24	0.53	66.17	3.72	33.83	3.16
60:40	69.39	0.36	30.61	0.45	67.53	2.56	32.47	2.56
50:50	70.07	2.57	29.93	2.08	67.24	2.71	32.76	3.02
40:60	67.28	1.32	32.72	1.01	64.16	2.06	35.84	1.95
30:70	61.69	0.38	38.31	0.79	63.02	1.68	36.98	2.45
20:80	57.36	1.41	42.64	2.22	61.1	1.86	38.9	2.35
10:90	58.06	0.71	41.94	0.89	57.33	2.38	42.67	3.08

DE= Desviación estándar

La aplicación de pre-tratamientos, tales como la reducción de tamaño mediante molienda es un proceso crítico con el fin de aumentar el área de superficie del

material antes de la densificación. La reducción del tamaño de partícula aumenta el área total de la superficie, el tamaño de poro del material y el número de puntos de contacto para la unión inter-partícula en el proceso de compactación (Scholten y McElhiney, 1985). Típicamente el molino de martillos se utiliza en la industria de procesamiento de forraje, ya que es relativamente barato, fácil de operar y produce una amplia gama de partículas. Los molinos de martillos se han diversificado en la industria alimenticia debido a su capacidad para moler finamente una mayor variedad de materiales que cualquier otra máquina (Adapa *et al.*, 2011).

En el Cuadro 6 se observa que después de la molienda, la mezcla mantiene proporciones similares de tamaño de partícula con una mayor proporción de éstas entre 600 y 1000 μm .

Cuadro 6. Tamaño de partícula (μm) en mezclas de grano de canola:sorgo o maíz (%).

	Relación Canola:Sorgo				Relación Canola:Maíz			
	>1000	>600	>500	<500	>1000	>600	>500	<500
100:0	10.58	56.36	10.37	22.69	6.81	59.26	11.28	22.65
75:25	9.80	55.30	10.70	24.20	6.54	52.91	10.55	30.00
70:30	9.84	54.91	9.30	25.95	6.26	51.76	9.96	32.02
60:40	9.60	53.71	9.73	26.96	6.25	51.45	10.13	32.17
50:50	8.42	58.02	8.52	25.04	5.63	50.90	9.88	33.59
40:60	7.83	57.33	9.07	25.77	4.96	51.03	9.36	34.65
30:70	7.37	55.80	9.51	27.32	4.02	48.70	9.10	38.18
20:80	6.76	57.45	13.00	22.79	4.64	51.11	9.01	35.24
10:90	7.15	61.16	13.23	18.46	4.27	48.73	9.86	37.14
DE	1.39	2.17	1.68	2.75	1.04	3.12	0.72	4.60

DE= desviación estándar

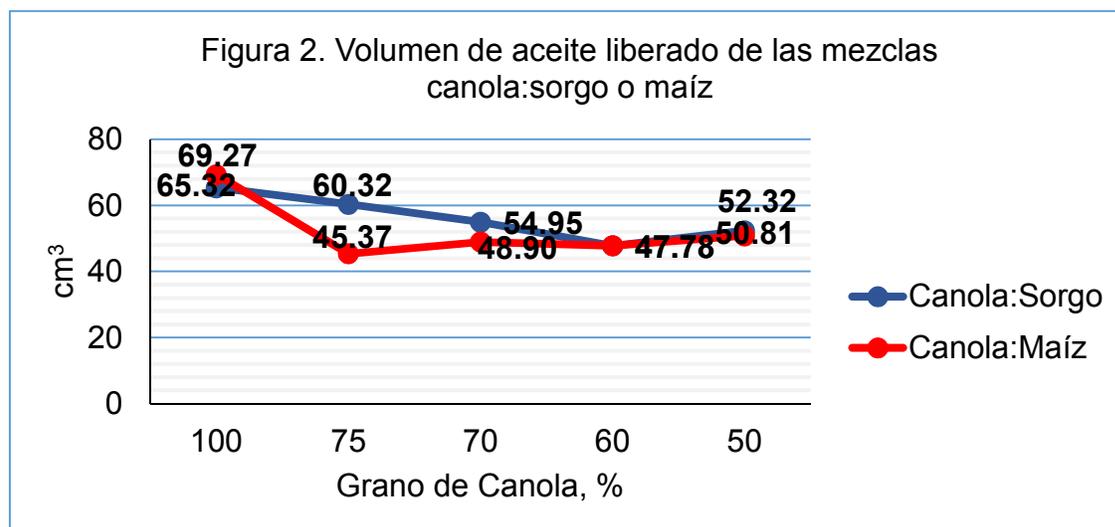
Como un parámetro importante de los ingredientes utilizados en la elaboración de alimentos balanceados o premezclas para alimentación animal, los fabricantes establecen especificaciones de granulometría o tamaño de partícula, parámetro que

se toma en consideración para mejorar la eficiencia de mezclado y por tanto la homogeneidad de las formulaciones (NMX-Y-024-SCFI-2001). En el Cuadro 7 se presentan las principales variables a considerar cuando se evalúa el tamaño de partícula de una muestra.

Cuadro 7. Variables de tamaño de partícula para la mezcla canola:sorgo o maíz proporción 50:50

Variables	Canola:sorgo	Canola:maíz
Tamaño geométrico medio, (μm)	716	666
Superficie de área, (cm^2/g)	48	51
Partículas por gramo	29114	32380
Desviación geométrica media, (%)	2.05	1.97

En el Figura 2 se muestra la cantidad de aceite liberado durante el proceso de molienda y absorbido de las mezclas de granos canola:sorgo o maíz con sus distintas proporciones, podemos observar que el volumen de aceite absorbido por el papel es similar en la máxima (100:0) y mínima (50:50) proporción.



En el Cuadro 8 se muestra el comportamiento en digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) que en el caso del grano integral de canola fue significativamente

más digestible en las primeras horas, seguida por las mezclas con 30 y 40% de maíz y sorgo, posteriormente se invirtió la posición del grano de canola para los últimos periodos de incubación en las que la mezclas con granos fueron las que presentaron las digestibilidades significativamente más altas.

Cuadro 8. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%) y parámetros de cinética ruminal del grano de canola y sus combinaciones con sorgo o maíz.

Tiempo (h)	Canola	Relación canola:sorgo			Relación canola:maíz			DE
		50:50	60:40	70:30	50:50	60:40	70:30	
3	22.54 ^a	15.52 ^c	16.91 ^{bc}	18.03 ^b	15.53 ^c	17.61 ^b	17.94 ^b	2.37
6	24.69 ^a	18.47 ^d	19.79 ^{bc}	20.33 ^b	18.69 ^{cd}	19.72 ^{cd}	20.87 ^b	2.09
9	27.45 ^a	24.57 ^b	26.12 ^{ab}	26.14 ^{ab}	25.11 ^b	26.12 ^{ab}	25.99 ^{ab}	0.91
12	31.53 ^{ab}	30.20 ^{abc}	29.28 ^{bc}	31.25 ^{abc}	29.05 ^c	31.39 ^b	31.86 ^a	1.14
24	45.44 ^b	48.14 ^{ab}	49.35 ^{ab}	50.60 ^{ab}	48.82 ^{ab}	50.79 ^a	52.01 ^a	2.15
48	59.69 ^b	69.87 ^a	69.96 ^a	70.98 ^a	70.09 ^a	69.87 ^a	67.20 ^a	3.95
Parámetros de cinética								
B0	4.78	5.04	5.01	5.00	5.04	4.99	4.94	
Fase Lag, (h)	1.91	4.44	4.20	4.05	4.45	3.97	3.44	
Kd, (%/h)	9.29	9.73	9.70	9.68	9.74	9.70	9.72	
r ²	0.947	0.938	0.941	0.943	0.940	0.948	0.963	

^{a,b,c} Literales iguales en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$), Kd= tasa de digestibilidad, DE= desviación estándar

La fase Lag es el tiempo en el que se inicia la digestión como una cinética de primer orden y representa el tiempo en que se adhieren las bacterias para empezar la digestión, la tasa de digestión (Kd) puede ser descrita por cinética de primer orden, como una tasa fraccional constante. (Mendoza y Ricalde, 1993).

Los resultados de liberación *in vitro* de N-NH₃ se muestran en el Cuadro 9 donde observamos que en las primeras horas de muestreo no hay diferencia entre el grano integral de canola y sus mezclas para la producción de dicho gas que

posteriormente permanecen constantes y al final es significativamente mayor la producción en el grano integral de canola.

Cuadro 9. Concentración de nitrógeno amoniacal (mg/dl) en el grano de canola y sus combinaciones con sorgo o maíz.

Tiempo, h	Canola	Relación canola:sorgo			Relación canola:maíz			DE
		50:50	60:40	70:30	50:50	60:40	70:30	
3	35.49	34.69	31.79	31.68	39.63	35.41	35.91	2.71
6	37.90	36.06	33.76	39.34	37.00	31.34	41.10	3.31
9	45.77 ^a	42.52 ^{ab}	43.19 ^{ab}	27.79 ^b	39.68 ^{ab}	41.14 ^{ab}	43.65 ^{ab}	5.94
12	47.94 ^a	37.66 ^{ab}	43.51 ^{ab}	42.73 ^{ab}	44.13 ^{ab}	43.98 ^{ab}	42.73 ^{ab}	3.03
24	64.10 ^a	45.12 ^{bc}	59.46 ^{ab}	48.93 ^{abc}	49.01 ^{abc}	48.62 ^{abc}	52.19 ^{abc}	6.80
48	72.29 ^a	53.33 ^b	55.39 ^b	58.49 ^b	55.18 ^b	57.51 ^b	51.18 ^b	6.91

^{a,b,c} Literales iguales en la misma columna son diferentes (P<0.05), DE= desviación estándar

En el Cuadro 10 se presenta el análisis químico proximal de la mezcla grano de canola más sorgo a una proporción 50:50 en donde observamos una importante cantidad de proteína y grasa en nuestro ingrediente resultante.

Cuadro 10. Análisis químico proximal y de energía de la mezcla canola:sorgo proporción 50:50.

	Proteína total	Fibra detergente neutro	Fibra detergente ácida	Materia seca	Cenizas	Energía total	Extracto etéreo
Promedio	17.29	22.42	15.22	92.99	2.90	5.245	19.17
DE	1.42	0.96	0.67	0.18	0.14	0.91	1.35

DE= Desviación estándar

El tiempo empleado para moler 30 kg de la mezcla canola:sorgo se muestra en el Cuadro 11 el cual es adecuado para el manejo en la preparación de alimento y con una recuperación casi completa.

Cuadro 11. Prueba de molienda de la mezcla canola:sorgo proporción 50:50.

	Tiempo de molienda (min)	Muestra recuperada	Muestra retenida
Promedio, (kg)	1.412	29.820	0.180
Promedio, (%)	1.412	99.400	0.600
DE	0.048	0.045	0.018

DE= Desviación estándar

6.2 Fase 2. Comportamiento productivo, digestibilidad aparente de la materia seca, concentración de nitrógeno amoniacal y de ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con grano de canola

En el Cuadro 12 se presenta el análisis químico analizado de las dietas experimentales donde se observan contenidos similares en la mayoría de los nutrimentos con excepción de extracto etéreo que muestra diferencias que podrían ser explicadas por el método de extracción.

Cuadro 12. Análisis químico proximal y de energía de las dietas experimentales

Compuesto	Tratamientos			DE
	Pasta Canola	Canola:Sorgo	Pasta + Aceite	
Materia seca, %	88.64	88.93	88.6	0.180
Proteína total, %	14.30	15.28	14.59	0.503
Fibra detergente neutro, %	34.83	33.79	31.87	1.502
Fibra detergente ácida, %	11.19	11.58	10.14	0.745
Cenizas, %	5.80	5.45	5.23	0.287
Extracto etéreo, %	3.93	4.71	6.83	1.501
Energía total, Mcal/kg	3.958	4.172	4.095	0.108

DE= desviación estándar

En una revisión realizada por Palmquist y Jenkins (2003) donde hablan acerca de los métodos para extracción de grasas y ácidos grasos, mencionan que los procedimientos descritos para "extracto etéreo" de la AOAC siguen siendo limitados, y por lo tanto hay una considerable variabilidad en la adherencia a los procedimientos para la medición de extracto etéreo. En el análisis de "extracto etéreo" el método oficial AOAC (2001) especifica que el disolvente será éter dietílico, sin embargo, muchos laboratorios utilizar éter de petróleo o hexano. Los hexanos son menos polares, extrayendo por lo tanto menos lípidos de membrana y dan un valor más bajo (96,7% del valor éter dietílico, Thiex *et al.*, 2003); sin embargo, éter dietílico también extrae ciertos componentes solubles en agua, tales como urea y hexosas, dando así potencialmente inexacta o artificialmente altos valores. Por lo mencionado anteriormente, puede ser justificado el alto porcentaje de extracto etéreo presente en el tratamiento que contiene pasta de canola más aceite.

Los resultados de comportamiento productivo se muestran en el Cuadro 13, podemos observar que no hay diferencias ($P < 0.05$) en las variables evaluadas entre tratamientos experimentales. No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en CMS, GDP, CA o DAMS entre tratamientos ni tampoco en las variables de fermentación ruminal.

Cuadro 13. Comportamiento productivo de ovinos en finalización.

	Tratamientos			EEM
	Pasta Canola	Canola:Sorgo	Pasta + Aceite	
Consumo de MS, (kg)	1.796	1.671	1.790	0.477
Peso inicial, (kg)	30.75	32.27	33.06	2.387
Peso 42 días, (kg)	44.00	47.64	49.49	2.447
Ganancia diaria de peso, (kg)	0.315	0.366	0.391	0.080
Conversión alimenticia	5.752	4.473	4.641	1.025

EEM: error estándar de la media

La DAMS, PC, cenizas, ET y de la fracción de fibra se muestran en el Cuadro 14, hay diferencias ($P < 0.05$) muy marcadas en la mayoría de los nutrientes con

excepción de MS y ET, las mayores digestibilidades se presentaron en el tratamiento donde se utilizó grano de canola:sorgo a pesar de que no hubieron diferencias en cuanto a CMS y en el análisis químico proximal y de energía de las dietas el contenido de MS y de ET fue similar.

Cuadro 14. Digestibilidad aparente de nutrientes de las dietas experimentales (%).

	Tratamientos			EEM
	Pasta Canola	Canola:Sorgo	Pasta + Aceite	
Materia seca	74.15	78.80	73.88	2.20
Proteína cruda	67.71 ^b	75.90 ^a	67.11 ^b	1.85
Cenizas	61.30 ^a	58.33 ^a	49.28 ^b	2.22
Energía bruta	71.99	77.75	72.61	2.25
Fibra detergente neutro	69.14 ^b	75.40 ^a	66.69 ^b	2.13

^{a,b,c} Literales iguales en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$); EEM= Error estándar de la media

Según Ludovic *et al.* (2004) las mayores fuerzas de corte y presiones hidrotermales aplicados durante el procesamiento de molienda de granos da como resultado una mayor temperatura, aunque por un período muy corto de tiempo, especialmente durante el paso en el molde, esto afecta en la utilización de proteínas. Sin embargo, se desorganizan positivamente las paredes celulares y estructuras de alto contenido de fibra (Saunders *et al.*, 1969), e influyen en la solubilidad y capacidad de degradación de componentes de fibra (Björck *et al.*, 1984, Citado por Tilden, 1995). La producción de AGV de acuerdo con la materia seca degradada, la de N-NH₃ y pH en líquido ruminal se muestra en el Cuadro 15 en donde no hubo diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$) en ninguna variable evaluada lo que sugiere que la adición de aceite de canola en la dieta no tiene algún efecto sobre las variables ruminales en comparación con las dietas donde se utilizó la mezcla de canola:sorgo y pasta de canola.

Cuadro 15. Variables microbiológicas en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con pasta, grano y aceite de canola.

	Tratamientos			EEM
	Pasta Canola	Canola:Sorgo	Pasta + Aceite	
Acetato, (%)	56.73	53.44	54.83	1.938
Propionato, (%)	27.81	35.02	30.97	2.474
Butirato, (%)	15.46	11.54	14.19	1.735
mMol/l totales	102.54	89.01	96.43	4.249
N-NH ₃ , (mg/dl)	6.37	5.11	5.43	1.502
pH	6.77	7.04	7.00	0.536

EEM= Error estándar de la media

6.3 Fase 3. Rendimiento, calidad de la carne y perfil de ácidos grasos de la canal de ovinos

En el Cuadro 16 se muestra que las únicas diferencias ($P \leq 0.05$) fueron el peso al sacrificio y clasificación de las canales.

Cuadro 16. Rendimiento y características de la canal de ovinos.

Tratamiento	Peso al sacrificio (kg)	Rendimiento (%)	Peso de lomo, (g)	Conformación	Clasificación
Pasta Canola	46.44 ^b	54.14	639	7.41	3.0 ^b
Canola:Sorgo	45.37 ^b	52.15	587	7.34	3.3 ^a
Pasta + Aceite	47.13 ^a	52.16	655	7.28	3.4 ^a
EEM	3.18	1.52	83.86	0.83	0.13

^{a,b}. Literales iguales en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; Conformación: 9= Excelente+; 8= Excelente; 7= Excelente-; 6= Buena+; 5= Buena; 4= Buena-; 3= Deficiente+; 2= Deficiente; 1= Deficiente-; Clasificación: 4= México extra; 3= México 1; 2= México 1; 1= Fuera de clasificación

En una publicación realizada por Partida y colaboradores (2013) mencionan valores promedio que están por debajo de los obtenidos en el presente trabajo pero con rangos muy extremos que se debieron a las diferencias en el tamaño de los animales de los distintos grupos genéticos. Las canales están dentro de la calificación por encima de excelente, de acuerdo a lo reportado por Partida y col., (2009) dando un mejor aspecto a las canales que procedían de animales que consumieron grano de canola y pasta de canola más aceite.

El color de la carne es uno de los atributos más importantes para el consumidor, pues es el primer elemento que valora. Si el producto que desea comprar tiene un color desagradable esto es suficiente para que no se interese por evaluar ninguna otra propiedad más (Partida y col., 2013).

Cuadro 17. Color de la carne de ovinos.

Tratamiento	L*	a*	b*
Pasta Canola	42.17 ^b	23.44	12.69
Canola:Sorgo	43.62 ^a	22.20	14.13
Pasta + Aceite	40.24 ^c	21.94	11.31
EEM	3.54	1.27	2.31

^{a,b,c} Literales iguales en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$); L* = luminosidad; a* = rojo; b* = amarillo; EEM = error estándar de la media

Con respecto a los resultados de calidad instrumental de la carne y de la grasa perirrenal, se presentan en los Cuadros 17 y 18. En el Cuadro 17 se muestra el color de la carne, donde se puede apreciar que sólo hubo diferencia ($P \leq 0.05$) en el índice de luminosidad o claridad (L*), se mide en una escala que va de 0 (en un objeto totalmente negro) a 100 (en un objeto totalmente blanco), siendo mayor el tratamiento con canola:sorgo (carne más blanca) y menor el de pasta de canola más aceite (carne más oscura). El índice de rojo (a*) que va de +60 (rojo) a -60 (verde), el índice de amarillo (b*) que va de +60 (amarillo) a -60 (azul) al igual que el de L*,

fueron superiores a los promedios reportados por Partida y col., (2013) pero dentro de los rangos superiores. Braña y colaboradores (2011) mencionan en el manual de análisis de calidad en muestras de carne que al realizar la determinación de color en el músculo, el parámetro de L* se correlaciona con el estado físico de la carne, debido al pH final del músculo, a la estructura de las fibras musculares y a la cinética implicada para establecer el *rigor mortis*; pero en éste caso el pH de la carne para el tratamiento con grano canola:sorgo no fue distinto a los demás como se muestra en el Cuadro 18.

El color de la grasa perirrenal se muestra en el Cuadro 18, donde no se observan diferencias ($P \leq 0.05$) en luminosidad pero si en los índices en a* y b*, siendo mayor en el tratamiento donde se usó grano de canola:sorgo; según Partida y col., (2013) los valores muy altos en el índice de a* (>30) se pueden deber a la presencia de sangre infiltrada en la grasa.

Cuadro 18. Color de la grasa perirrenal de ovinos.

Tratamiento	L*	a*	b*
Pasta Canola	76.72	11.68 ^b	15.20 ^b
Canola:Sorgo	76.12	16.56 ^a	20.28 ^a
Pasta + Aceite	77.65	11.51 ^b	16.60 ^b
EEM	2.61	3.66	0.468

^{a,b}. Literales iguales en la misma columna son diferentes ($P > 0.05$); L*= luminosidad; a*= rojo; b*= amarillo; EEM = error estándar de la media

De acuerdo con la guía AMSA (1992) y la National Pork Board (NPB) (2000), las mediciones de color en la carne cruda son afectadas por: nutrición del animal, velocidad de enfriamiento de la canal, tipo de músculo, orientación de las fibras, pH del músculo, tiempo y temperatura de almacenamiento *post-mortem*, tiempo de exposición del músculo al oxígeno, grado y distribución del marmoleo, humedad y brillo de la superficie y concentración de mioglobina. Por ello, es de gran importancia

estandarizar tanto como sea posible las variables en la medición de color de las muestras a ser comparadas, y considerar todos estos factores al momento de procesar las muestras. Siempre se deberá asociar la medición de color, con la del pH de la carne.

La CRA es una variable que está asociada con la jugosidad de la carne, cualidad muy importante para el consumidor quien califica mal a las carnes secas. La jugosidad se da por dos condiciones: la primera, por la cantidad de agua existente en la carne, que da una sensación inicial de jugosidad en la masticación y segunda, por la cantidad de grasa que tiene la carne, estimulando a las glándulas salivales para su secreción, la cual da mayor sensación de jugosidad en el resto de la masticación (Laurie, 1998).

En los resultados que se muestran en el Cuadro 19, las únicas diferencias ($P < 0.05$) se registraron en contenido de grasa y fuerza de corte, en el caso de la primer variable es mayor para el tratamiento con la mezcla canola:sorgo y menor en la fuerza de corte, esto permite sugerir que la carne de ovinos que consumieron la mezcla canola:sorgo es más suave en comparación con los que consumieron pasta de canola o pasta más aceite.

Cuadro 19. Variables de calidad instrumental en la carne de ovinos.

Tratamiento	CRA (%)	pH	Fuerza de corte, (kg/cm ²)	Composición química	
				Proteína, (%)	Grasa, (%)
Pasta Canola	18.40	5.71	3.76 ^a	20.18	3.52 ^c
Canola:Sorgo	19.09	5.74	3.55 ^c	19.84	4.47 ^a
Pasta + Aceite	19.77	5.72	3.68 ^b	20.12	4.16 ^b
EEM	1.27	0.19	0.429	0.155	1.19

^{a,b,c} Literales iguales en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$); EEM= error estándar de la media; CRA = Capacidad de retención de agua

El contenido de lípidos en la carne fresca en México varía en función de especie, raza, edad, sistema de alimentación, etc. pero podemos considerar que un valor cercano al 2.5% pudiera aplicar para la mayoría de las carnes magras, aunque los valores pueden variar entre 1 y 13 % (USDA, 2008). Interesantemente, se ha encontrado que existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de lípidos y el contenido de agua (Callow, 1984).

Por último, en el Cuadro 20 no se presentaron diferencias ($P>0.05$) en la concentración de ácidos grasos libres de cadena larga en el músculo *Longissimus dorsi*. A pesar de haber mostrado mayor contenido de grasa la carne del tratamiento donde se utilizó la mezcla grano de canola:sorgo no influyó en la concentración de ácidos grasos libres de cadena larga que es similar a los tratamientos donde los ovinos consumieron pasta y pasta más aceite.

Cuadro 20. Concentración de ácidos grasos libres de cadena larga en músculo *Longissimus dorsi* de ovinos.

Ácido Graso	Tratamientos			EEM
	Pasta Canola	Canola:Sorgo	Pasta + Aceite	
Mirístico (c14 0)	2.932	2.752	3.076	0.163
Pentadecanoico (c15 0)	0.456	0.507	0.538	0.025
Palmítico (c16 0)	25.89	26.113	26.457	0.364
Palmitoleico (c16 1)	1.682	2.032	1.891	0.100
Heptadecanoico (c17 0)	1.483	1.566	1.526	0.068
Esteárico (c18 0)	14.96	14.482	14.479	0.305
Eládico (c18 1n 9t)	6.671	6.013	5.126	0.623
Oleico (c18 1n 9c)	41.461	42.4	42.723	0.706
Linoleico (c18 2n 6c)	3.163	2.972	3.07	0.167
Linolénico (c18 3n 3c)	0.457	0.397	0.382	0.041
cis9 trans 11 CLA	0.781	0.745	0.687	0.044

EEM= error estándar de la media

En carne de cerdo, res y cordero se ha relacionado la concentración de ácido esteárico (c18:0) con el punto de fusión de la grasa y la firmeza/dureza de la carne (Wood *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista de la nutrición humana, no sólo es deseable que las grasas insaturadas predominen en gran cantidad sobre las saturadas, sino también que la proporción entre ácidos grasos omega 6 y omega 3 sea la adecuada (no mayor de 2 a 1). Por ello, es preferible una carne con una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados y un mayor balance entre los ácidos grasos omega 3 y 6 (Braña y col., 2011).

Los ácidos grasos insaturados interfieren con la fermentación ruminal mucho más que los ácidos grasos saturados; estos hechos llevaron a Voicu *et al.* (2008) a evaluar el impacto de las dietas ricas en ácidos grasos poliinsaturados provenientes de oleaginosas (soya y canola) en el metabolismo de los lípidos del tejido con el fin de mejorar el valor nutritivo de la carne de bovino y cambiar el perfil de ácidos grasos, encontrando una mayor proporción de ácido linoleico en la dieta que contenía aceite de soya sobre la de canola.

7 CONCLUSIONES

7.1 Fase 1. Procesamiento del grano de canola más sorgo o maíz

Los resultados de esta etapa permiten concluir que la combinación de canola integral con grano de sorgo permite reducir las pérdidas y los problemas de molienda al mínimo y su posible incorporación en dietas para rumiantes.

7.2 Fase 2. Comportamiento productivo, digestibilidad aparente de la materia seca, concentración de nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de ovinos en finalización alimentados con grano de canola

A pesar de algunas diferencias en digestibilidad de nutrientes (PT y ET), los resultados de comportamiento productivo y variables ruminales indican que es posible incluir como ingrediente canola integral mezclada con grano de sorgo (50:50) en un 15% de la MS en raciones para finalización y obtener resultados similares a los de dietas con pasta de canola con o sin aceite para la finalización de ovinos.

7.3 Fase 3. Rendimiento, calidad de la carne y perfil de ácidos grasos de la canal de ovinos

El consumo de la mezcla de grano de canola:sorgo y pasta más aceite en corderos en finalización no modificó las características de la canal, sin embargo, incrementó la calificación de la canal, dando un mejor aspecto a la misma. Es importante mencionar que la carne de ovinos que consumieron la mezcla grano de canola:sorgo presentaron mayor contenido de grasa, promoviendo una mayor suavidad y modificando el color de la grasa perirrenal.

8 LITERATURA CITADA

- Adapa, P., Tabil L. and Schoenau, G., 2011. Grinding performance and physical properties of non-treated and steam exploded barley, canola, oat and wheat straw. *Biomass and Bioenergy* 35: 549-561.
- AMSA, 1992. Guidelines for meat color evaluation American Meat Science. Chicago IL: Association National Live Stock and Meat Board.
- Anderson-Hafermann, J. C., Zhang Y. and Parsons C.M., 1993. Effects of processing on the nutritional quality of canola meal. *Poult. Sci.*, 72 (2): 326-333.
- ANIAME, 2015. Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles A. C. Disponible en: <http://portal.aniame.com/cgi-bin/exec/search.cgi>.
- AOAC, 2001. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Baker, S. and Herrman, T., 2002. Evaluating particle Size. Feed Manufacturing, Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Bauchart, D., 1993. Lipid Absorption and Transport in Ruminants. *J. Dairy Sci.*, 76:3864-3881.
- Björck, I., Nyman, M. and Asp, N.G., 1984. Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fibre content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chem.* 61, 174–179.
- Black, J.L., Campbell, R.G., Williams, I.H., James, K.J., and Davies, G.T., 1986. Simulation of energy and amino acid utilization in the pig. *Research and Development in Agriculture* 3.3, 121–145.
- Braña, V. D., Ramírez, R. E., Rubio, L. M. S., Sánchez, E. A., Torrescano, U. G., Arenas de Moreno, M. L., Partida, P. J. A., Ponce, A. E. y Ríos, R. F. G., 2011. Manual de análisis de calidad en muestras de carne. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Primera Ed. Folleto técnico No. 11.

- Callow, E.H., 1984. Comparative studies of meat II. Changes in the carcass during growth and fattening and their relation to the chemical composition of the fatty and muscular tissues. *J Agr Sci.*, 38:174.
- Campagnoli, A., Carlo, P. M. A., Alaimo, M., Agazzi, A., Chiofalo, V., Leone, A., Dell'Orto, V., and Savoini, G., 2009. Feed particle size evaluation: conventional approach versus digital holography based image analysis. *Ital. J. Anim. Sci.* Vol. 8 (Suppl. 2), 283-285.
- Cañeque, V. y Sañudo, C., 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA: Serie Ganadera No.3. Madrid España.
- Canola Council of Canada, 2014. Canola encyclopedia. Storage of canola. Published only in database. Disponible en: <http://www.canola-council.org/canola-encyclopedia/storage-management/storage-of-canola/#oil-content>.
- Champ, M., and Colonna, P., 1993. Importance de l'endommagement de l'amidon dans les aliments pour animaux. *INRA Prod. Anim.* 6, 185–198.
- CONASIPRO, 2009. Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas. Nuevos montos de Ingreso Objetivo Mínimo para los ciclos agrícolas OI 2008-2009 al PV 2013 no alientan la siembra de oleaginosas, 2009. Boletín bimestral publicado por el Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas. No. 21.
- Corley, R.N., Woldeghebriel, A., and Murphy, M.R., 1997. Evaluation of the nutritive value of kudzu (*Pueraria Zobata*) as a feed for ruminants. *Animal Feed Science Technology*, 68, 183-188.
- De Lange, C. F. M., Gabert, V. M., Gillis, D. J., and Patience, F., 1998. Digestible energy contents and apparent ileal amino acid digestibilities in regular or partial mechanically dehulled canola meal samples fed to growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 78 (4): 641-648.
- Edwards, A. C. 1999. Feed processing and feeding management to enhance nutrient utilization in commercial livestock production. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*, Volume 12.

- Goering, H.K. and Van Soest, P.J., 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. ARS-USDA, Washington, DC., Handbook No. 379.
- Goh, Y. K.; Shires, A., Robblee, A. R. and Clandinin, D. R., 1982. The effects of hydrous and anhydrous ammonia treatments on the nutritive value of low glucosinolate-type rapeseed meal (canola meal) for chicks. *Can. J. Anim. Sci.*, 62 (3): 915-918.
- Grenet, E. and Barry, P., 1990. *In vivo* and *in sacco* digestibility and rumen microbial degradation of cell walls of soya bean and rape integuments and of dehydrated beet pulp in sheep, observed by scanning electron microscopy. Station de Recherches sur la Nutrition des Herbivores, Unité de l'Ingestion, INRA, Centre de Recherches de Clermont-Ferrand-Theix, 63122 Ceyrat, France, *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 115, Issue 03, 429-435.
- Hernández, R., Gonzales, A. y Rivera, P., 2008. El cultivo de la Canola (*Brassica napus* y *B. rapa*) en el estado de Jalisco, México. Características agronómicas, Jalisco, México.
- Honikel, K. O., 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49, 447–457.
- INDOLEA, 2015. Industriales de Oleaginosas S. A. de C. V. Beneficios generales de las Oleaginosas. Disponible en: <http://indolea.com.mx/oleaginosas-en-los-alimentos.php#generales>.
- INEGI, 2000. Marco Geoestadístico, INEGI-DGG. Superficie de la República Mexicana por Estados.
- Kolakowska, A. and Zdzislaw Z. E. S., 2011. Chemical and Functional Properties of food lipids. 2a ed. Florida, USA: CRC Press.
- Kracht, W., Jeroch, H., Matzke, W., Nürnberg, K., Ender, K. and Schumann, W., 1996. The influence of feeding rapeseed on growth and carcass fat quality of pigs. *Fett/Lipid* 98, 343-351.
- Laurie, R. A. 1998. Ciencia de la carne. Acribia. Zaragoza.
- Littell, R. C., Henry, P. R. and Ammerman, C. B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Anim. Sci.* 76: 1216-1231.

- Ludovic, L., Philippe, G., Jean-Noël, T. and Bernard, S., 2004. Technological processes of feed manufacturing affect protein endogenous losses and amino acid availability for body protein deposition in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 113, 141–156.
- McCullough, H., 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clin. Chim.* 17:297-304.
- Medel, P., Latorre, M.A., de Blas, C., Lázaro, R. and Mateos, G.G., 2004. Heat processing of cereals in mash or pellet diets for young pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 113, 127–132.
- Mendoza, M. G. D. y Ricalde, V. R., 1993. Alimentación del ganado bovino con dietas altas en granos. 1ª ed. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Merchen, N. R. 1988. Digestión, absorción y excreción en los rumiantes. *In: El rumiante, fisiología digestiva y nutrición.* Church, D. C. (ed.). Acribia, Zaragoza, España. pp:191-223.
- Mertens, D. R., 2002. Gravimetric Determination of Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds with Refluxing in Beakers or Crucibles: Collaborative Study. *Journal of AOAC International* 85:6, 1217-1240.
- NMX-FF-106-SCFI-2006, Productos Pecuarios Carne de ovino en Canal. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de julio de 2006.
- NMX-Y-024-SCFI-2001, Productos para uso agropecuario y consumo animal-ingredientes para la alimentación animal-método de ensayo para la determinación de la granulometría en ingredientes utilizados para la alimentación animal. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de julio de 2011.
- NPB, 2000. Pork composition and quality assessment procedures. National Pork Procedures Council, Des. Moines ID.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of sheep. 8th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. 104 p.
- NUTRION, 2002. Manual de operación. Versión 5 pro. Comercializadora de software, S. A. de C. V. Guadalajara, Jalisco. México. 106 p.

- Ortegón, M. A., Díaz, F. A. y González, Q. J., 2007. Cultivares de canola y su interacción con el ambiente y el método de siembra. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.
- Ortegón, M. A., 2003. Guía para la producción de canola en el norte de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tamaulipas, México. 15 p. (Folleto para Productores Núm. 14).
- Ortegón, M. A., Díaz, F. A., González, Q. J. y Garza, C. I., 2006. La temperatura en la etapa reproductiva del cultivo de canola (*brassica napus*). Agricultura Técnica en México. México.
- Palmquist, D. L. and Jenkins, T. C. 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. J. Anim. Sci. 81:3250–3254
- Partida, P. J. A., Braña, B. D. y Martínez, R. L. 2009. Desempeño productivo y propiedades de la canal en ovinos Pelibuey y sus cruzas con Suffolk o Dorset. Téc. Pecu. Méx. 47(3):313-322.
- Partida, P. J. A., Braña, B. D., Jiménez, S. H., Ríos, R. F. G y Buendía, R. G. 2013. Producción de carne ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Libro Técnico No. 5. ISBN: 978-607-37-0036-8.
- Pegg, R.B. and Shahidi, F., 2000. Nitrite curing of meat the N-nitrosamine: problem and nitrite alternatives. Food and nutrition Press INC Connecticut.
- Rakic, L., 2012. Feed Structure: Effects on physical quality of the feed, chemical status of the feed and nutritional consequence. Master of Science Thesis in Feed Manufacturing Technology. Norwegian University of Life Science, Department of Animal and Aquaculture Sciences.
- SAS, 2008. version 9.2, Statistical Analysis Systems Institute User's guide, SAS Institute Inc., Cary NC.
- Saunders, R. M., Walker, Jr., H. G. and Kohler, G. O., 1969. Aleurone cells and the digestibility of wheat mill feeds. Poult. Sci. 48, 1497–1503.

- Scholten, R. L and McElhiney, R. R. 1989. The effects of prebreaking in hammer mill particle size reduction. American Society of Agricultural Engineers. Paper No. 85-3542, St. Joseph, MI.
- Sidlauskas, G. and Bernotas, S., 2003. Some factors affecting seed yields of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.) Agron. Res. 12:229-243.
- Sporndly, E. and Asberg, T., 2006. Eating rate and preference of different concentrate components for cattle. Suecia.
- Steel, R. G. y Torrie, J. H., 1996. Bioestadística. Principios y procedimientos. Segunda edición. McGraw Hill, México. 622 p.
- Svihus, B., 2009. Lecture note, course HFE305, Grinding. UMB.
- Thiex, N. J., Anderson, S. and Gildemeister, B., 2003. Crude fat extraction in feed, cereal grain and forage (Randall/Soxtec/Submersion method): A collaborative study. J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int. 86:888–908.
- Tilden, W.P., 1995. The Effect of Processing on the Nutritive Value of Feedstuffs for Beef Cattle. Department of Animal Sciences Purdue University West Lafayette, Indiana, USA. 73-86
- Tilley, J. M. A. and Terry, R. A., 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops Current Contents/Journal of the British Grassland Society 18:104-111.
- USDA, 2008. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 21. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Vavilov, N.I., 2000. The Origin, Variation, Immunity, and Breeding of Cultural Plants; Sanluke, D.K., World Oilseeds y; De Candole, A., Origin of Cultivated Plants.
- Villamil, J. A. y Nieto, V., 2003. Análisis de competitividad en cadenas productivas: oleaginosas, aceites y grasas. FEDEPALMA, DNP-DDE.
- Voicu, D., Hebean, V., Voicu, I. and Hebeanu, M., 2008. Effect of using high oleaginous (full-fat soy, rapeseeds) diets on cattle meat production and quality, National Research-Development Institute for Animal Biology and Nutrition, B. Archiva Zootechnica 11:1, 45-53.

- Wang, Z., and Goonewardene, L. A., 2004. The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 1-11.
- Wondra, K. J., Hancock, J. D., Behnke, K. C. and Stark, C. R., 1995. Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finisher pigs. *Journal of Animal Science* 73, 2564–2573.
- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M. and Kasapidou, E., 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66 (1): 21-32.