



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

EVALUACIÓN DE TRES FUENTES DE ÁCIDOS GRASOS POLI-INSATURADOS EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDA

EUTIQUIO SONÍ GUILLERMO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

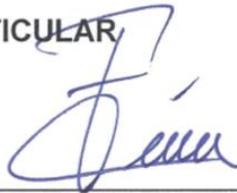
La presente tesis titulada: **Evaluación de tres fuentes de ácidos grasos poli-insaturados en dietas para cerdos en engorda**, realizada por el alumno: **Eutiquio Soní Guillermo** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. JOSÉ LUIS FIGUEROA VELASCO

ASESORA



DRA. MARÍA TERESA SÁNCHEZ-TORRES ESQUEDA

ASESORA



DRA. ALEIDA SELENE HERNÁNDEZ CÁZARES

ASESOR



DR. JOSÉ MARÍA FERNANDO COPADO BUENO

ASESOR



DR. JOSÉ ALFREDO MARTÍNEZ AISPURO

EVALUACIÓN DE TRES FUENTES DE ÁCIDOS GRASOS POLI-INSATURADOS EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDA

Eutiquio Soní Guillermo, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2016

El uso de semillas o aceites con alto contenido de ácido linolénico, puede ser una herramienta para aumentar el aporte de ácidos grasos de cadena larga como son Ω -3 y Ω -6 en la producción pecuaria. El objetivo de esta investigación fue determinar los niveles de semilla de linaza molida, aceites de atún y canola en dietas para cerdos en finalización con la finalidad de enriquecer la carne con ácidos grasos Ω -3 y Ω -6 sin afectar la respuesta productiva, la concentración de urea en plasma, el perfil de ácidos grasos, las características de la canal y físico-químicas de la carne. La inclusión de 2% de semilla de linaza molida en la dieta mejoró la ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia; con 4% la grasa dorsal, en la primera etapa; y en la segunda etapa el área del músculo *Longissimus dorsi* y porcentaje de carne magra con 8%. La composición lipídica de la carne con ácidos grasos de cadena larga fue mejor con 8 y 10%. Los resultados respecto al aceite de atún indican que en la primera y segunda etapa no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en las variables productivas, calidad de la canal y características físico-químicas de la carne, sin embargo, sí se afectó ($P \leq 0.05$) en la segunda etapa la variable ganancia de carne magra al disminuir con 3% de aceite atún. El perfil de ácidos grasos de cadena larga Ω -6 y Ω -3 se mejoró con 3 y 4%, respectivamente. Con los niveles de aceite de canola en la primera etapa se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en ganancia diaria de peso, peso vivo final y ganancia de carne magra obteniendo la mejor respuesta con 4%. El perfil de ácidos grasos saturados, mono-insaturados y poli-insaturados se afectaron por los diferentes niveles de aceite de canola. La composición lipídica de ácidos grasos de cadena larga Ω -6 (linoléico) en pierna (*Biceps femoris*) y lomo (*Longissimus dorsi*) fue mejor con 2%, mientras que los ácidos grasos saturados disminuyeron (mirístico y palmítico) con 2% y los mono-insaturados se incrementaron (oléico) con 6% en pierna y lomo, respectivamente.

Palabras clave: ácidos grasos, características físico-químicas de la carne, aceites, omegas

EVALUATION OF THREE POLYUNSATURATED FATTY ACIDS SOURCES IN FINISHING PIG DIETS

Eutiquio Soní Guillermo, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

Using seeds or their oil as a source of linolenic acid, could be a way to increase the supply of long-chain fatty acids such as Ω -3 and Ω -6 to livestock products. The objective of this research was to determine the levels of ground flaxseed as well as tuna and canola oils in diets for finishing pigs in order to enrich the pork with Ω -3 and Ω -6 fatty acids without affecting the growth performance, plasma urea nitrogen concentration, fatty acid profile of pork, carcass and physicochemical characteristics of meat. The inclusion of 2% ground flaxseed in the diet improved average daily gain, average daily feed intake and feed:gain ratio; with 4% increased backfat thickness, all during the first stage; and in the second stage, improved *Longissimus dorsi* muscle area and lean meat percentage with 8%. As for the lipid composition of meat, 8 and 10% increased long chain fatty acids. The results regarding tuna oil indicated that in the first and second stage there were no significant differences ($P>0.05$) in growth performance variables, carcass quality and physicochemical characteristics of meat; however, during the second phase, fat free lean gain decreased ($P\leq 0.05$) with 3% tuna oil. The fatty acid profile of long-chain Ω -6 and Ω -3 was improved with 3 and 4%, respectively. Canola oil affected ($P\leq 0.05$) pig response for average daily gain, final body weight and fat free lean gain, with better results in pigs fed 4%. The profile of saturated, mono-unsaturated and poly-unsaturated fatty acids was affected by the level of canola oil: lipid composition of long chain Ω -6 (linoleic) fatty acid both in *Biceps femoris* and *Longissimus dorsi* muscles was better with 2%, while saturated fatty acids decreased (myristic and palmytic) with 2%, mono-unsaturated increased (oleic) with 6% in *Biceps femoris* and *Longissimus dorsi* muscles, respectively.

Keywords: sources of fatty acids, carcass characteristics, physico-chemical characteristics of meat.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca proporcionada para realizar mis estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados, por darme la oportunidad de estudiar el Doctorado, con especial agradecimiento al Postgrado de Ganadería y a sus Académicos.

Al Programa de Ingeniería Agronómica y Zootecnia de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Facultad de Ingeniería Agrohidráulica por permitirme continuar con mi superación profesional.

Al proyecto por convocatoria del Fideicomiso 167304 con el cual se financió parte de esta investigación.

Al Dr. José Luis Figueroa Velasco por su amistad, por darme la oportunidad de recibirme como su estudiante de Doctorado gracias por su apoyo incondicional y sus atinadas sugerencias y aportaciones para la realización de este trabajo de investigación

A la Dra. Ma. Teresa Sánchez-Torres Esqueda, Dra. Aleida Selene Hernández Cázares, Dr. José Ma. Fernando Copado Bueno y Dr. José Alfredo Martínez Aispuro, por las aportaciones y sugerencias brindadas en la realización del presente trabajo y su trato siempre amable.

A la Dra. Magdalena Crosby Galván del Laboratorio de Nutrición del Colegio de Postgraduados por brindarme el apoyo y las facilidades para el análisis del perfil de ácidos grasos.

A la IQ. Margarita Crosby Galván por su paciencia, sencillez, humildad y dedicación al enseñarme el procedimiento para análisis del perfil de ácidos grasos.

Al Médico Cordero por su apoyo y amistad durante toda la fase experimental de mi Tesis.

Al personal administrativo Sonia de la Rosa, Verónica Galván, Ana Luisa Portillo, Celsa Fragoso, Leticia Ordaz, Jacinto Altamirano y Lupita por brindarme su apoyo y amistad.

A Todos los Académicos del Programa de Ganadería que en algún momento durante todo este tiempo me brindaron su amistad y consejos.

A mis compañeros (as) del Programa de Ganadería Jennifer, Eva, Verónica, Edgar y Margarito que me brindaron su amistad y apoyo cada vez que lo necesite. Gracias.

DEDICATORIA

A Dios por no desampararme en los momentos más difíciles de mi vida

A mi amada esposa Teresa Rivero Belmonte por su amor, comprensión, paciencia y apoyo durante todo este tiempo por compartir mis sueños y logros, por estar conmigo en los momentos más difíciles. Te amo.

A mis hijos Julieta y Diego Soní que día a día son el motor de mi vida, que me impulsan con su amor y sonrisas para alcanzar mis metas. Los amo.

A mis padres Eutiquio Soní Montiel† y Claver Guillermo Pérez† y a mis hermanos Hortencia, Baltazar, Josefina y Osvaldo por sus consejos, enseñanzas de vida y por creer en mí.

A mi suegro el Sr. Julio Zenón Rivero y Suárez por escucharme y darme siempre su apoyo y sus consejos, porque es para mí un ejemplo de vida.

A mis sobrinos (as) y cuñados (as) por escucharme y apoyarme cuando los he necesitado.

A mi amigo el Dr. Marcelino Becerril Herrera† por dejar un legado en mi formación académica, por sus consejos y apoyo. Gracias amigo por el tiempo que estuviste conmigo.

Al Dr. Marcos Pérez Sato y su familia por su amistad, consejos y compañía que al estar lejos de mi familia siempre he contado con ustedes. Gracias.

A mis alumnos Lalo “El torero”, Sotero, Jenny, Berruecos, Erika, Darío, Felix y Lucas que contribuyeron de manera directa durante mi estancia Doctoral ya que sin su valioso apoyo no hubiera logrado esta meta. Muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN GENERAL	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ABREVIATURAS	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL	
1.1. Importancia de la carne de cerdo.....	3
1.2. Importancia de los ácidos grasos Omegas	3
1.3. Fuentes vegetales ricas en ácidos grasos Omegas.....	4
1.4. Calidad de la carne.....	5
1.5. Factores que afectan la calidad de la carne ante, pre y post-mortem	6
1.5.1. Ante-mortem.....	6
1.5.2. Pre-mortem.....	7
1.5.3. Post-mortem.....	9
1.6. Características físico-químicas que determinan la calidad de la carne.....	9
1.6.1. pH.....	10
1.6.2. Color.....	10
1.6.3. Capacidad de retención de agua.....	11
1.6.4. Textura.....	11
1.7. Uso de semilla y aceite de linaza en dietas para cerdos.....	12
1.8. Uso de aceite de atún en dietas para cerdos.....	13
1.9. Uso de aceite de canola en dietas para cerdos.....	15
2. Literatura citada.....	17
CAPÍTULO II. EFECTO DE LA ADICIÓN DE SEMILLA DE LINAZA MOLIDA EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDA	
RESUMEN	24
ABSTRACT	25

2.1. INTRODUCCIÓN.....	26
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
2.2.1. Localización.....	27
2.2.2. Animales y dietas experimentales.....	27
2.2.3. Variables productivas y características de la canal.....	28
2.2.4. Características físico-químicas de la carne.....	29
2.2.5. Perfil de ácidos grasos en pierna y lomo.....	30
2.2.6. Análisis estadístico.....	30
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
2.3.1. Parámetros productivos.....	30
2.3.2. Características físico-químicas.....	32
2.3.3. Perfil de ácidos grasos en pierna.....	34
2.4. CONCLUSIONES.....	36
2.5. LITERATURA CITADA.....	37
CAPÍTULO III. ACEITE DE ATÚN COMO FUENTE DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 EN DIETAS PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN	
RESUMEN.....	49
ABSTRACT.....	50
3.1. INTRODUCCIÓN.....	51
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
3.2.1. Localización.....	52
3.2.2. Animales y dietas experimentales.....	52
3.2.3. Variables respuesta.....	52
3.2.4. Características físico-químicas.....	53
3.2.5. Perfil de ácidos grasos.....	54
3.2.6. Análisis estadístico.....	54
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
3.3.1. Parámetros productivos.....	54
3.3.2. Características físico-químicas de la carne.....	56
3.3.3. Perfil de ácidos grasos en la carne.....	58
3.4. CONCLUSIONES.....	59
3.5. LITERATURA CITADA.....	60

CAPÍTULO IV. ACEITE DE CANOLA COMO FUENTE DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN

RESUMEN.....	70
ABSTRACT.....	71
4.1. INTRODUCCIÓN.....	72
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	73
4.2.1. Localización.....	73
4.2.2. Animales y dietas experimentales.....	73
4.2.3. Variables respuesta.....	73
4.2.4. Características físico-químicas.....	74
4.2.5. Perfil de ácidos grasos.....	75
4.2.6. Análisis estadístico.....	75
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	76
4.3.1. Parámetros productivos.....	76
4.3.2. Características físico-químicas.....	77
4.3.3. Perfil de ácidos grasos en pierna.....	79
4.4. CONCLUSIONES.....	80
4.5. LITERATURA CITADA.....	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro Núm.	Pág.
CAPÍTULO I	
1 Composición de ácidos grasos de algunos aceites provenientes de semillas vegetales.....	6
CAPÍTULO II	
1 Dietas experimentales para cerdos en finalización (50-75 kg; Experimento 1).....	41
2 Dietas experimentales para cerdos en finalización (75-100 kg; Experimento 2).....	42
3 Comportamiento productivo y características de la canal de cerdos en finalización (50-75 kg) alimentados con seis niveles de semilla de linaza molda en la dieta (Experimento 1).....	43

4	Comportamiento productivo de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2).....	43
5	Características de la canal de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2).....	44
6	Características físico-químicas de la carne en pierna de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2).....	44
7	Características físico-químicas de la carne en lomo de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2).....	45
8	Perfil de ácidos grasos de carne de pierna de cerdo en finalización alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2).....	46
9	Perfil de ácidos grasos de carne de lomo de cerdos en finalización alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2).....	47
CAPÍTULO III		
1	Dietas experimentales para cerdos en finalización (50-75 kg de peso vivo; Experimento 1).....	63
2	Dietas experimentales para cerdos en finalización (75 a 100 kg peso vivo; Experimento 2).....	64
3	Comportamiento productivo de cerdos en finalización (50-75 kg) alimentados con diferentes niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 1).....	65
4	Características de la canal de cerdos en finalización (50-75 kg) de peso vivo alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 1).....	65
5	Comportamiento productivo de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con cinco niveles de aceite de atún (Experimento 2).....	66
6	Características de la canal de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 2).....	66
7	Características físico-químicas de la carne de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 2).....	67

8	Perfil de ácidos grasos de carne de pierna de cerdos en finalización alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta.....	68
---	---	----

CAPÍTULO IV

1	Dietas experimentales para cerdos en finalización (50-75 kg de peso vivo; Experimento 1).....	83
2	Dietas experimentales para cerdos en finalización (75 a 100 kg peso vivo; Experimento 2).....	84
3	Comportamiento productivo de cerdos en finalización (50-75) kg alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	85
4	Características de la canal de cerdos en finalización 50-75 kg de peso vivo alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	85
5	Comportamiento productivo de cerdos en finalización 75-100 kg de peso vivo alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	86
6	Características de la canal de cerdos en finalización 75-100 kg, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	86
7	Características físico-químicas de la carne en pierna de cerdos finalización 75-100 kg, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	87
8	Características físico-químicas de la carne en lomo de cerdos finalización 75-100 kg, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	87
9	Perfil de ácidos grasos de carne pierna de cerdo en finalización, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	88
10	Perfil de ácidos grasos de carne lomo de cerdo en finalización, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.....	89

ABREVIATURAS

AA	Ácido araquidónico
AGPCL	Ácidos grasos poli-insaturados de cadena larga
AGPI	Ácidos grasos poli-insaturados
AML	Área del músculo <i>Longissimus dorsi</i>
AMLF	Área del músculo <i>Longissimus dorsi</i> final
AMLI	Área del músculo <i>Longissimus dorsi</i> inicial
CA	Conversión alimenticia
CAL	Consumo de alimento
CRA	Capacidad de retención de agua
CUP	Concentración de urea en sangre
DFD	Carnes secas, firmes y oscuras
DHA	Ácido docosahexaenoico
EM	Energía metabolizable
EPA	Ácido eicosapentaenoico
GCM	Ganancia de carne magra
GD	Grasa dorsal
GDF	Grasa dorsal final
GDI	Grasa dorsal inicial
GDP	Ganancia diaria de peso
PC	Proteína cruda
PCM	Porcentaje de carne magra
PCMF	Porcentaje de carne magra final
PCMI	Porcentaje de carne magra inicial
PSE	Carnes pálidas, suaves y exudativas
PVF	Peso vivo final de los cerdos
PVi	Peso vivo inicial de los cerdos
Ω -3	Omega 3
Ω -6	Omega 6

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cambios en los patrones de alimentación han provocado un mayor consumo de aceites vegetales ricos en ácido linoléico (Ω -6), por lo que su relación con Ω -3 (Ω -6: Ω -3) es del orden de 15:1 en muchos países, cuando lo ideal es 5:1 o máximo 10:1 (FAO, 1994). El mercado de la carne de cerdo demanda productos que reúnan una serie de características (comestible, nutritivo y saludable) o combinación de factores (inocuo, funcional o de calidad). La incorporación de semillas o aceites vegetales altos en ácido linoléico permite mejorar la relación de ácidos Ω 6: Ω 3 y favorecer la conversión a ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y docosahexaenoico (C22:6, DHA). Las semillas y sus aceites pueden ser utilizados como potenciales ingredientes funcionales con altos niveles de ácidos grasos Ω -3 (Jiménez *et al.*, 2013). Además, los productores buscan nuevos ingredientes para incluir en dietas para cerdos que ayuden a obtener un producto final que satisfaga la demanda de la población. En general las semillas son fuentes de compuestos lipídicos que incluyen ácidos grasos, tocoferoles, triglicéridos, fosfolípidos y esteroides (Matthäus *et al.*, 2003) por lo que utilizar semillas con alto contenido de ácido linoléico o el aceite mismo en la alimentación puede ser una herramienta para aumentar el aporte de ácidos grasos Ω -3 a la dieta. Algunos estudios (Kloareg *et al.*, 2007; Flachowsky *et al.*, 2008) mencionan que la cantidad y composición de los ácidos grasos en dietas para cerdos mejoran la cantidad y calidad de los ácidos grasos poli-insaturados de cadena larga (AGPCL) y el valor sensorial de la carne. Los aceites de pescado han sido utilizados para modificar el perfil de ácidos grasos de la carne en dietas para cerdos (Flachowsky *et al.*, 2008; Jaturasitha *et al.*, 2009). El aceite de canola es el único aceite que más se asemeja al balance aconsejado por las guías internacionales para la relación Ω -6: Ω -3, que es igual o menor a dos; además, contiene una baja cantidad de grasa saturada, grasas *trans* y colesterol, lo cual aumenta la demanda de dicho producto en el mercado (Ursin, 2003).

CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

1.1. Importancia de la carne de cerdo

El cerdo se encuentra entre los animales más eficientes por su precocidad y prolificidad, ciclo reproductivo corto y su gran capacidad transformadora de nutrientes, lo que lo hacen atractivo como una fuente de carne para humanos. La industria porcícola ha avanzado en diversas tecnologías para la obtención de líneas genéticas precoces, mejores índices de conversión de alimento y la obtención de carnes magras, entre otros; estos avances han sido derivados principalmente para incrementar la producción de canales que proporcionen una mayor cantidad de carne nutritiva y de menor costo. Actualmente el mercado de la carne de cerdo demanda productos que satisfagan las necesidades del consumidor para que sea comestibles, nutritivos y saludables. En el caso de la carne porcina, se pueden considerar distintas acepciones de calidad ya que ésta se define en función del segmento de la cadena de producción que se encuentre. Para el consumidor, la calidad sensorial definirá su compra o consumo; así, la apariencia (color, textura, jugosidad, sabor, aroma) serán los parámetros de decisión. Para un nutricionista, la calidad está referida a su sanidad e inocuidad y su composición para el buen funcionamiento del cuerpo humano. Para el productor, tiene relación con el rendimiento en peso del animal y su capacidad de transformación del alimento en carne; y para el transformador, la calidad está referida por la capacidad de la carne para transformarse o conservarse, es decir, mantener sus cualidades nutritivas durante mucho tiempo, así como incrementar el rendimiento en cortes preciados para su venta en fresco y su capacidad de transformación en productos cárnicos.

1.2. Importancia de los ácidos grasos omegas

Los lípidos son nutrientes importantes en la dieta tanto humana como animal. Entre sus componentes destacan los ácidos grasos poli-insaturados de cadena larga (AGPCL), los cuales son componentes dietarios que participan en múltiples procesos fisiológicos, cumpliendo una función estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores que modelan múltiples procesos como inmunidad, patologías infecciosas y enfermedades cardiovasculares (Masood *et al.*, 2005). Entre los AGPCL se encuentran dos grupos

principales: los ácidos grasos omega-3 (Ω -3) y omega-6 (Ω -6), los cuales son esenciales para el ser humano, aunque no los puede sintetizar (por carecer de enzimas para la generación de dobles enlaces) y deben ser aportados por la alimentación. El primer exponente de los ácidos grasos es el ácido α -linolénico (Ω -3, C18:3), el cual vía las enzimas desaturasas y elongasas puede transformarse en el ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y posteriormente en el ácido docosahexaenoico (C22:6, DHA). Por otro lado, el segundo exponente de los ácidos grasos es el ácido linoléico (Ω -6, C18:2) y uno de sus derivados más importantes es el ácido araquidónico (C20:4, AA) (Knoch *et al.*, 2009; Valenzuela *et al.*, 2011). El AA, el EPA y el DHA son importantes componentes estructurales de los fosfolípidos de las membranas y son el sustrato para la formación de una serie de derivados lipídicos llamados eicosanoides. Los ácidos EPA y DHA pueden ser aportados por la dieta (preformados), encontrándose en pescados, mariscos y algas o a partir de su precursor de origen vegetal. El ácido linolénico, precursor de DHA, tiene baja disponibilidad a partir de la dieta, siendo muy restringido su consumo en algunas poblaciones humanas.

1.3. Fuentes vegetales ricas en ácidos grasos Omegas

La composición de ácidos grasos que constituyen los aceites de semillas vegetales se caracterizan por estar principalmente constituidos por ácidos grasos altamente poli-insaturados, siendo los ácidos linoléico y linolénico los principales componentes.

La utilización de semillas con aceites de alto contenido de ácido linolénico o del aceite mismo en la alimentación es una herramienta interesante para aumentar el aporte de ácidos grasos Ω -3 a la dieta. Una alternativa la constituyen los aceites de semillas de linaza (*Linum usitatissimum*), rosa mosqueta (*Rosa 156 rubiginosa*) y chía (*Salvia hispanica*), los cuales se caracterizan por un alto contenido de ácidos linolénico y linoléico en su composición.

Algunas otras semillas como fuentes de ácidos grasos omegas son: girasol, ajonjolí, linaza, chía, soya, nuez y pepita de calabaza. Los ácidos grasos poli-insaturados (AGPI) Ω -6 como el ácido linoléico, se encuentran en semillas como el cártamo,

girasol, soya y ajonjolí. Entre los AGPI Ω -3, el ácido α -linolénico está presente en el aceite de semilla de linaza, chía, rosa mosqueta y cantidades moderadas en soya, nuez y pepita de calabaza. Las ventajas que tienen estas semillas, aparte de poseer una fuente rica de ácidos grasos Ω -3, es que no producen olores en las canales como lo hacen los aceites o harinas de pescado; también, son productos sin colesterol, los antioxidantes/estabilizadores artificiales son innecesarios, no tienen factores tóxicos o antinutricionales, su contenido en ácidos grasos saturados es bajo, son de fácil manejo para el productor y la industria, se pueden almacenar por años sin sufrir deterioro y son ideales para enriquecer una gran diversidad de productos (Jiménez *et al.*, 2013)

Aunque estas materias primas tienen un alto contenido de ácidos grasos Ω -3, existen notables diferencias entre ellas, ya sea en el precio o bien factores en su composición química total, efectos fisiológicos y nutricionales en la salud, tanto en humanos como en los animales, ya que si no se administran en cantidades adecuadas en las dietas en monogástricos pueden ocasionar desbalances nutricionales, como por ejemplo: la semilla de algodón contiene el compuesto gossypol, que le transfiere colores verdosos a la yema de huevo durante el almacenamiento, o bien la semilla de calabaza en gallinas de postura, causan problemas digestivos como diarreas.

En el Cuadro 1 se muestra la composición de ácidos grasos de algunas semillas ricas en ácidos grasos poli-insaturados.

1.4. Calidad de la carne

Uno de los principales objetivos de la industria pecuaria es proporcionar productos inocuos y de calidad a los consumidores. Sin embargo, para ellos la calidad de un producto va más allá de la inocuidad, calidad sensorial o nutricional, pues también deben valorarse aspectos relacionados con las condiciones de producción y el impacto de la actividad sobre el ambiente (Sepúlveda *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Composición de ácidos grasos de algunos aceites provenientes de semillas vegetales (FEDNA, 2016).

Perfil de ácidos grasos ^a	Linaza	Girasol ^b	Chia	Soya	Algodón	Canola	Oliva	Rosa mosqueta	Palma ^c	Coco
Mirístico C14:0	-	-	0.08	-	1.0	-	-	0.07	1.0	17.0
Palmitico C16:0	6.0	6.4	7.29	9.5	23.8	5.0	10.0	3.71	43	9.0
Palmitoleico C16:1	-	-	0.06	0.2	1.0	0.3	0.2	0.10	0.3	-
Esteárico C18:0	4.5	5.0	3.84	4.0	2.5	2.2	3.5	2.46	4.8	2.5
Oléico C18:1	19	22.6	8.91	22.0	18.8	57.0	78	16.12	40.0	7.0
Linoléico C18:2	16	63	19.36	54	50.2	20.5	6.5	41.55	10	1.5
Linolénico C18:3	54	<0.5	51.82	7.3	-	9	0.3	27.48	-	-
C _≥ 20	1.0	1.1	0.5	1.1	-	4.4	-	3.5	-	-

^a Perfil en % de grasa verdadera

^b El perfil en ácidos grasos de aceite de girasol rico en oléico varía en función de la variedad y de las especificaciones del proveedor. En el mercado se comercializan con un mínimo de 75-80% de oléico.

^c Aceite crudo refinado de palma. Los destilados de palma contienen aproximadamente 1% menos del ácido oléico y linoléico y 2% más de palmítico.

En este sentido es importante considerar que para obtener una mejor calidad de la carne se deben elegir las mejores razas productoras de carne y proporcionarles las mejores condiciones en granja, por ejemplo: alimentación balanceada de acuerdo con el estado fisiológico del animal, instalaciones adecuadas, sanidad, densidad de población en corrales y trato de los operarios, con la finalidad de evitar el menor estrés posible.

1.5. Factores que afectan la calidad de la carne *ante, pre y post-mortem*

1.5.1. *Ante-mortem*

El estrés causado a los animales por un deficiente manejo *ante-mortem* impacta negativamente en la calidad de la carne. El organismo de un animal estresado produce cambios hormonales muy intensos que afectan la composición del tejido muscular en el animal en vivo y las características de la carne obtenida (Hernández *et al.*, 2013).

El transporte tiene una importancia vital no solamente desde la perspectiva del bienestar animal y de la calidad de los productos, sino también de la inocuidad alimentaria (Blokhuis *et al.*, 2008).

Algunos de los factores importantes que se deben considerar al momento de enviar a los animales al sacrificio durante el transporte son los siguientes: el tipo y características del vehículo, pisos, paredes, divisiones, temperatura, humedad, ventilación, densidad de población, rutas de viaje óptimas, horario de transporte, entre otras, esto con la finalidad de disminuir el estrés y por ende mejorar la calidad de la carne.

Los animales que son transportados y manejados antes del sacrificio de manera inadecuada, generan un estado de estrés; este produce cambios que afectan la composición química de la sangre y del tejido muscular en el animal en vivo. Además, afectan las características físico-químicas de la carne después del sacrificio. La contracción del tejido muscular y la reducción del peso de la canal son una consecuencia del transporte prolongado (Gallo, 2009).

1.5.2. Pre-mortem

Otro factor a considerar que es atribuible a la obtención de una carne de buena calidad en el manejo *pre-mortem* de los animales es el tiempo de ayuno. De acuerdo con este tiempo, la suma total de tres diferentes etapas es: tiempo entre la última vez que el animal consumió alimento sólido en la unidad de producción pecuaria y el comienzo del transporte; tiempo de transporte; y la permanencia en los corrales de espera del sacrificio. En el periodo entre el arreo del ganado y el comienzo de transporte tiene lugar la primera etapa de la evacuación del tracto gastrointestinal. Esto favorece al aparato circulatorio y los animales llegan a la planta de beneficio en buenas condiciones (Álvarez, 2010).

En el cerdo, un estrés puntual antes del sacrificio puede provocar carnes pálidas, suaves y exudativas (PSE), mientras que un estrés más prolongado en el tiempo podría provocar carnes secas, firmes y oscuras (SFD). Esto ocurre cuando las reservas de glucógeno del músculo en los animales vivos se han agotado antes de la muerte, produciéndose poco ácido láctico que da como resultado un pH muscular final elevado (>6.0); esto trae como consecuencia una vida de anaquel disminuida, ya que con el pH elevado sufre una putrefacción más rápida debido al acelerado crecimiento bacteriano (Hernández *et al.*, 2013).

El reposo de los animales antes de la matanza es otro factor a considerar dentro de la calidad de la canal. Un estudio realizado por Jerez *et al.* (2013), quienes estudiaron la influencia de dos tiempos de reposo: periodo largo (20-22 h) y periodo corto (3-4 h), en 200 animales, encontraron que con un reposo de 3 h es suficiente para calmar a los animales del estrés del transporte y de la descarga, permitiendo así obtener valores deseables de pH, además de disminuir los problemas de bienestar animal; también que al incrementar este tiempo excesivamente se aumenta la posibilidad de ocurrencia de carnes oscuras con pH final alto (> 6.0), debido a que se agotan más las reservas de glucógeno muscular y a la mayor incidencia de golpes y contusiones.

Otra condición que determina la calidad de la carne es el método del sacrificio, ya que si éste no es el adecuado, puede conllevar a disminuir la calidad. En la actualidad, al momento de la matanza, los cerdos cursan un estrés severo por implementación de un inadecuado método de aturdimiento provocando que muchos de ellos retornen a la conciencia, lo cual es indicativo de un pobre bienestar animal. Para tal fin, los métodos más utilizados para la insensibilización de cerdos son la cámara de CO₂ y el aturdimiento eléctrico, los cuales aún presentan controversias sobre cuál es el más apropiado (Mota *et al.*, 2006; Becerril *et al.*, 2009).

En un estudio realizado por Aguilera *et al.* (2015), quienes evaluaron el efecto del método de aturdimiento sobre el perfil fisiometabólico sanguíneo de 738 cerdos híbridos (York×Landrace×Pietrain) de 23 semanas de edad faenados en tres distintos rastros (R1 sacrificio sin aturdimiento, R2 aturdimiento eléctrico y R3 aturdimiento con cámaras de CO₂), tomaron muestras de sangre, temperatura corporal y medición del perfil energético, desequilibrio ácido-básico y gasometría sanguínea, concluyendo que los métodos de aturdimiento empleados en las plantas Mexicanas como son el aturdimiento eléctrico y cámaras de CO₂ tienen repercusiones importantes en el bienestar animal, debido al estrés que éste les genera al momento del desangrado; no obstante, la falta de un método de aturdimiento genera mayores desbalances fisiológicos sanguíneos y severas alteraciones en el intercambio gaseoso.

Por su parte, Hambrecht *et al.* (2003) mencionan que los cinco min previos al sacrificio tienen un impacto importante en la calidad de la carne, ya que si el manejo *pre-mortem* es estresante, incluyendo el aturdimiento y desangrado, se incrementa la presencia de la miopatía pálida, suave y exudativa (PSE) aún en cerdos resistentes al estrés.

El desangrado debe realizarse lo más rápido posible después del aturdimiento debido a que después de 30 s, el animal puede recuperar la sensibilidad y empezar a moverse ocasionando un rápido descenso de pH y una permanencia de temperatura corporal, lo cual conduce a una mayor pérdida por goteo (Alarcón *et al.*, 2006).

Cabe destacar que en nuestro país el sacrificio en los rastros no está muy regulado, ya que persiste la matanza clandestina en la cual las instalaciones y métodos no son los más adecuados, por lo tanto la calidad de la carne que proviene de estos rastros es mala y es la que llega a un mayor número de consumidores. Cabe destacar que a pesar de que en México existen rastros Tipo Inspección Federal (TIF), muchos de los pequeños y medianos productores venden a rastros con las condiciones antes mencionadas.

1.5.3. *Post-mortem*

Todos los factores mencionados anteriormente conllevan a la obtención de una mejor calidad de la carne *post-mortem*, que se verá reflejada en algunas características físico-químicas como son: el pH, el color, la textura, y capacidad de retención de agua (CRA), principalmente, lo que asegurará una mayor vida de anaquel y una mejor aceptación por parte de los consumidores.

1.6. Características físico-químicas que determinan la calidad de la carne

Las características que determinan la calidad de la carne principalmente son las físico-químicas, ya que algunas de estas son visibles o palpables para el consumidor, como son: el color, la CRA y la textura; así como el pH.

1.6.1. pH

El pH de la carne es el indicador instrumental más usado en estudios que evalúan el efecto del manejo *post-mortem*, debido a que es una variable que predice de manera precisa la calidad físico-química de la carne obtenida (Hernández *et al.*, 2013).

Después del sacrificio, el glucógeno que se encuentra en el músculo es convertido en ácido láctico, que reduce el pH (De la Fuente, 2003). Cuando la concentración de glucógeno muscular es adecuada, se produce una perfecta acidificación de la carne, desde un pH inicial próximo a la neutralidad (7.0) a un pH ácido a las 24 horas (pH último) del sacrificio de 5.5 aproximadamente (Ruíz *et al.*, 1990). Por su parte Guerrero (2009) menciona que el pH es un indicador de frescura de la carne debido a que su variación depende de la relación tiempo:temperatura *post-mortem*, durante la cual se activan enzimas endógenas, prolifera la flora deteriorante y en consecuencia se generan compuestos químicos que aumentan el pH. Un intervalo de pH 5.4 a 5.8 en la carne *post rigor* indica que no se ha iniciado la producción de compuestos de putrefacción, como las aminas biogénicas, aldehídos, cetonas y ácidos grasos de cadena corta.

1.6.2. Color

La apariencia visual de la carne determina la respuesta del consumidor en su decisión de compra. El color es probablemente el principal factor que determina esta decisión. Este carácter se asocia con el pH y con el tiempo de maduración. Una carne atractiva en color es aquella que tiene una luminosidad baja, una intensidad de color rojo alta, y una intensidad de color amarillo baja (Cornforth, 1994).

Alarcon *et al.* (2006) determinaron el efecto de variables críticas en la línea del sacrificio durante el verano e invierno sobre las propiedades físico-químicas de la carne, encontrando que la luminosidad (L^*) de la carne de los animales sacrificados en grupo fue menor ($P \leq 0.05$) durante el verano, mientras que en invierno la intensidad de color rojo (a^*) fue mayor, y la intensidad de amarillo (b^*) fue menor en la carne de los animales sacrificados en grupo. El sacrificio de los animales en grupo favoreció el

color de la carne, coincidiendo con una menor pérdida de CRA. Esto corrobora la relación importante entre la CRA y L^* (Van Laack, 1996) y a^* de la carne, ya que una carne normal presenta más agua retenida con menos L^* y mayor a^* que una carne de baja calidad (Kauffman, 1991), mientras que una carne PSE tiene una CRA baja, ocasionada por una desnaturalización parcial de proteínas (Offer y Knight, 1988).

1.6.3. Capacidad de retención de agua

Este concepto se define como la capacidad de la carne de retener agua durante la aplicación de fuerzas externas. La formación de ácido láctico y la consecuente caída del pH a valores de 5.8 con temperaturas de 38 °C, alteran las propiedades de las proteínas por la reducción del número total de grupos reactivos para ligar agua a las proteínas (Hernández *et al.*, 2013).

1.6.4. Textura

La dureza de la carne es una manifestación macroscópica de la resistencia de un tejido al corte cuando se aplica una fuerza externa; ésta generalmente se debe a la estructura de las fibras musculares formadas en un alto porcentaje por proteínas (Pérez *et al.*, 2009).

Otras características que deben tomarse en cuenta son características sensoriales, como el olor, el sabor y la cocción, que a pesar de ser variables cualitativas son de gran impacto para determinar la calidad de la carne. Por ejemplo, en el caso del olor y sabor, estas variables son determinadas por el tipo de alimentación que se les proporciona a los animales. Algunos autores (Tseng *et al.*, 2000; Corino *et al.*, 2008) han encontrado que estas variables se ven afectadas cuando se utilizan ingredientes de origen marino, como es el caso del aceite de atún.

1.7. Uso de semilla y aceite de linaza en dietas para cerdos

En un estudio realizado por Eastwood *et al.* (2009) encontraron que el nivel de harina de linaza (0, 5, 10 y 15%) afectó las variables productivas de cerdos de 32-60 kg de peso, obteniendo un efecto cuadrático en el nivel de 5% para la ganancia diaria de peso, pero no para cerdos de 60-85 kg; de igual manera estos mismos autores reportan que el nivel de harina de linaza no afectó las variables productivas en cerdos de mayor peso vivo (85-115 y de 32-115 kg). Por otra parte, Lisiak *et al.* (2013) mencionan que al utilizar niveles de aceite de linaza de 1.0, 2.3 y 2.5%, no se afectan las variables grasa dorsal final y área del músculo *Longissimus dorsi* en cerdos de 25-60 y 60-105 kg de peso vivo.

Skiba *et al.* (2015) evaluaron la adición de 0 y 5% de aceite de linaza en dietas para cerdos de 60 a 105 kg y no observaron diferencias significativas en conversión alimenticia, ganancia diaria de peso y peso vivo final. Haak *et al.* (2008) mencionan que al agregar semilla de linaza molida (0 y 3%) a dietas para cerdos en finalización (70 kg de peso), no se afectó ganancia diaria de peso y consumo de alimento. Otros estudios Wojtasik *et al.* (2012) encontraron que los niveles de aceite de linaza de 0.0, 1.0 y 2.5% no alteraron la grasa dorsal y área del músculo *Longissimus dorsi* en cerdos de 25-60 y 60-105 kg de peso vivo, respectivamente. Por otro lado Lisiak *et al.* (2013) mencionan que el perfil de ácidos grasos saturados no se afecta con 0.0, 1.0, 2.3 y 2.5% de aceite de linaza en músculo *Tríceps brachii*; sin embargo, los ácidos grasos mono-insaturados (ácido cis-11-eicosaenoico) se elevaron al incrementar los niveles de aceite en la dieta. De igual manera, los niveles de ácidos grasos poliinsaturados linolénico, araquidónico, cis-11, 14, 17-eicosatrienoico y cis-11, 14-eicosadienoico se incrementaron.

Otros estudios donde utilizaron linaza molida (Nuernberg *et al.*, 2005; Haak *et al.*, (2008; Mas *et al.*, 2011) no encontraron diferencias en color, pH y CRA al probar niveles de 0 y 3% de linaza molida en la dieta. Sin embargo, estos mismos autores indican que al agregar 0 y 3% de semilla de linaza, no hubo diferencias significativas en ácidos grasos saturados y mono-insaturados en carne del músculo *Longissimus*

dorsi; sin embargo reportaron que los ácidos grasos linolénico y cis-11, 14, 17-eicosatrienoico aumentaron al utilizar 3% en cerdos de 70 kg de peso.

Skiba *et al.* (2015) evaluaron tres fuentes de ácidos grasos (aceite de linaza, canola y aceite de pescado) con 5% cada uno, en dietas para cerdos de 60 a 105 kg, detectando diferencias en ácidos grasos poli-insaturados, encontrando mayor cantidad de ácidos grasos Ω -3 con el aceite de linaza en comparación con los aceites de canola y de pescado.

Por su parte, Betz *et al.* (2011) reportaron que al adicionar dietas con 5% de aceite de soya en un periodo de 22 a 82 días de vida de los cerdos, el contenido total de ácidos grasos poli-insaturados aumenta de 17.2% a 29.6%. Sin embargo, Koczanowski *et al.* (2004) encontraron que en cerdos de 100 kg de peso el contenido de ácidos grasos saturados se incrementa de 37.7 a 40.4%, mientras que los ácidos grasos poli-insaturados decrecen de 16.1 a 12.9% cuando la grasa dorsal está en un rango de 12 a 16 mm.

1.8. Uso de aceite de atún en dietas para cerdos

En un trabajo realizado por Jaturasitha *et al.* (2009) se reportó que con 0, 1 y 3% de aceite de atún en cerdos de 35-60, 60-75, 35-90 y 75-90 kg de peso vivo, no se afectó el consumo de alimento, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, grasa dorsal ni área del músculo *Longissimus dorsi*. Asimismo, Wojtasik *et al.* (2012) no encontraron efecto en cerdos de 60 a 105 kg de peso vivo con niveles de 0 y 2.5% de aceite de pescado en sustitución de semilla de linaza molida; no se modificaron las variables productivas, ni la grasa dorsal y área del músculo *Longissimus dorsi*. De igual manera Haak *et al.* (2008) mencionan que no hubo diferencias en las variables productivas al adicionar dos niveles de aceite de pescado (0 y 6%) en dietas para cerdos en finalización desde 70 kg de peso vivo. Estos resultados son consistentes con lo señalado por Van Oekel y Boucque (1992) quienes concluyen que puede adicionarse hasta 5% de aceite de atún sin disminuir el consumo de alimento en cerdos en engorda. En otro estudio realizado por Lisiak *et al.* (2013) con animales de 25-60 kg

se encontró que no hubo diferencias en grasa dorsal y área del músculo *Longissimus dorsi* en cerdos alimentados con dietas que contenían 0, 1 y 2% de aceite de pescado. Por otro lado Jaturasitha *et al.* (2008) con 0 y 2% de aceite de atún, encontraron que el color en los índices L*, a* y b* se afectan por el nivel de aceite incorporado a la dieta de cerdos de 90, 100 y 110 kg de peso vivo y se encontró una disminución de luminosidad y un aumento de a* y b* conforme se incrementaron los niveles de aceite de atún y el peso de los animales; además, la textura se modificó disminuyendo al incrementar el nivel de aceite de atún con 2% respecto al testigo sin aceite. En otro estudio de estos autores, tampoco se detectaron diferencias en textura de la carne de cerdos de 35-90, 35-60 y 75-90 kg de peso alimentados con 0, 1 y 3% de aceite de atún. Así en animales de 35 a 90 kg alimentados con 0 y 1% en comparación con animales de 35-60 y 75-90 kg con 3% de aceite de atún, se observó que la luminosidad se afecta de igual manera conforme se incrementa el nivel de aceite, disminuyendo con 1% y aumentando con 3%; pero no para a* y b* en las diferentes etapas de producción (Jaturasitha *et al.*, 2009); mientras que los ácidos Ω -6 disminuyeron con 1% en animales de 35-60 kg; y se incrementaron con 3% de 15.5 a 16.5% con animales de 75-90 kg de PV; sin embargo, los ácidos Ω -3 se incrementaron en las dos etapas de engorda: 1.5 a 2.11% en la primera etapa y 1.73 a 2.10% en la segunda. Por su parte, Lisiak *et al.* (2013) reportaron no haber encontrado efecto en color y pH con 0, 1 y 2% de aceite de pescado en dietas para cerdos.

Pochon *et al.* (2012) concluyeron que la inclusión de aceite de pescado de 0 y 5% en dietas para cerdos no produce modificaciones en el perfil de ácidos grasos de la carne. Sin embargo, otros estudios (Meers *et al.*, 2006; Khiosa *et al.*, 2011) mencionan que los niveles de Ω -3 de cadena larga como el docosahexaenoico (DHA) y eicosapentanoico (EPA) aumentan al incrementar los niveles de aceite de atún.

Haak *et al.* (2008) reportaron que al adicionar semilla de linaza (3%) en sustitución del aceite de pescado (3 y 6%) en dietas para cerdos en finalización desde 70 kg de peso vivo, en la dieta sin aceite de pescado y semilla de linaza vs aceite de pescado, no hubo efecto sobre ácidos grasos Ω -6 pero sí se incrementaron los Ω -3 al adicionar aceite de pescado. Por su parte Wojtasik *et al.* (2012), encontraron mayor porcentaje

de ácidos grasos de cadena larga Ω -6 y Ω -3 con 2.5%, al evaluar niveles de aceite de pescado de 0, 1 y 2.5%. Lisiak *et al.* (2013) evaluaron diferentes niveles de aceite de pescado (0, 1 y 2%) en sustitución de aceite de canola, aceite de linaza y manteca de cerdo; y observaron que la composición de ácidos grasos de cadena larga se modificó, ya que fue de mayor cantidad de Ω -6 en dietas que contenían 1, 2 y 2.3%, respectivamente, mientras que los ácidos grasos Ω -3 se concentraron en la dieta que contenía mayor cantidad de aceite de pescado. La modificación o variación de los ácidos grasos Ω -3 y la concentración de Ω -6 en las investigaciones antes mencionadas se deben a que se utilizaron diferentes fuentes de ácidos grasos.

1.9. Uso de aceite de canola en dietas para cerdos

El aceite de canola evaluado al 0, 5 y 10% en dietas para cerdos de 27-102 kg de peso vivo, mostró un efecto lineal en el consumo de alimento, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia, y se observó una modificación en la grasa dorsal y área del músculo *Longissimus dorsi*; sin embargo, en el perfil de ácidos grasos saturados, el ácido graso palmítico disminuyó y los ácidos grasos de cadena larga oléico y linoléico aumentaron con un nivel de inclusión del 2% (Myer *et al.*, 2014). Por otra parte, cuando se utilizaron 2.0, 2.5, 3.0 y 3.5% de aceite de canola en cerdos de 73.65 kg (De Sousa *et al.*, 2013), no se afectó el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso ni la conversión alimenticia. De igual manera, en cerdos de 70 a 120 kg de peso (Bertol *et al.*, 2013) alimentados con 1.5 y 3.0% de aceite de canola, no se encontró efecto del aceite adicionado a la dieta sobre color, pH, CRA y textura de carne de los músculos *Longissimus dorsi* y *semimembranosus*. Estos mismos autores mencionan que al probar diferentes fuentes de aceites (canola, soya y canola más aceite de linaza) con niveles de 1.5 y 3.0% no se observaron diferencias significativas en ácidos grasos saturados, sin embargo, con el aceite de canola se incrementaron más los ácidos oléico y linoléico en la grasa dorsal. Por otro lado Alonso *et al.* (2012) no encontraron diferencias significativas en pH y color, al evaluar tres fuentes de aceites (grasa animal, aceite de soya y aceite de palma), pero si encontraron efecto en CRA cuando la dieta contenía aceite de soya, de igual manera en músculo *Longissimus torácico*.

Otros estudios señalan que no se modifica la grasa dorsal ni el área del músculo *Longissimus dorsi* cuando se sustituye pasta de soya por pasta de canola al 50% en dietas para cerdos de 69 kg de peso vivo (Rojo *et al.*, 2001). Tampoco con harina de canola en dietas para cerdos de 96 a 118 kg de peso vivo en dos experimentos (0, 7.5, 15% o 0, 7.5, 15 y 22,5%, respectivamente (Seneviratne *et al.*, 2010).

2. LITERATURA CITADA

- Aguilera, A.E., R. Ramírez N., D. Mota R., P. Roldan S., M. Becerril H. y M. Alonso S. 2015. Efecto del método de aturdimiento en el perfil fisiometabólico de cerdos sacrificados en tres diferentes rastros. *Rev. Cient. FCV-LUZ.* 25(5): 412-419.
- Alarcon, R.A.D., J.G. Gamboa, F.A. Rodríguez, J.A. Grado y H. Janacua. 2006. Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades físico-químicas de la carne de cerdo. *Tec. Pec. Méx.* 44(1): 56-66.
- Alonso, V., L.M. Najes, L. Provincial, E. Guillén, M. Gil, P. Roncalés and J.A. Beltrán. 2012. Influence of dietary fat on pork eating quality. *Meat Sci.* 92: 366-373.
- Álvarez, Á.D. 2010. El ayuno *ante mortem* ¿reduce el estrés y favorece la calidad de la carne? *In: Bienestar animal y calidad de la carne.* 1ª Ed. Guerrero- Legarreta, I. & Trujillo-Ortega, M.E. Eds. Editorial BM Editores. México. p. 199-209.
- Becerril, H.M., A. Spilsbury M., C. Lemus F., I. Guerrero L., A. Olmos H., R. Ramírez N. and D. Mota R. 2009. CO₂ stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. *Meat Sci.* 81: 233-237.
- Bertol, T.M., R.M.L. De Campos, J.V. Ludke, N.N. Terra, E.A.P. De Figueiredo, A. Coldebella, J.I. Dos Santos F., V.I. Kawski and N.M. Lehr. 2013. Effects of genotype and dietary oil supplementation on performance, carcass traits, pork quality and fatty acid composition of backfat and intramuscular fat. *Meat Sci.* 93: 507-516.
- Betz, J.M., M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.L. Nelssen, J.M. DeRouchey, R.C. Sulabo and R.D. Goodband. 2011. Effects of choice white grease and soybean oil on growth performance, carcass characteristics and carcass fat quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89: 404-413.
- Blokhuis, H.J., J. Keeling, A. Gavinelli and J. Serratos. 2008. Animal welfare's impact on the food chain. *Trends Food Sci. Tech.* 19: 79-87.
- Corino, C., M. Musella and J. Mouro. 2008. Influence of extruded linseed on growth, carcass composition and meat quality of slaughtered pigs at 110 and 160 kilograms of live weight. *J. Anim. Sci.* 86: 1850-1860.

- Cornforth, D. 1994. Color basis and importance. *In: Quality attributes in meat poultry and fish products. Advances in meat research.* Pearson AM, Dutson TR Eds. Blackie Academic & Professional. London, UK: Chapman and Hall. 9:34-78.
- De la Fuente, J. 2003. Bienestar animal en el transporte de conejos al matadero (Tesis Doctoral). Madrid. España: Universidad Complutense de Madrid. 267 p. consultada en: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/vet/ucm-t26651.pdf>
- De Sousa, R.V., D. Ribeiro de O., M.G. Zangeronimo, V. De Sousa, C.M.S. Da Silva F. and L.J. Pereira. 2013. Total cholesterol and its fractions in the blood of finishing pigs fed diets with different levels of canola oil. *Acta Scientiae Veterinariae.* 41: 1098.
- Eastwood, P.R.K., A.D. Beaulieu and P. Leterme. 2009. Nutritional value of flaxseed meal for swine and its effects on the fatty acid profile of the carcass. *J. Anim. Sci.* 87: 3607-3619.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/Organización Mundial de la Salud (OMS). 1994. Fat and oils in human nutrition. Report of a Joint Expert Consultation. No. 57.
- FEDNA. 2016. Tablas FEDNA. Aceites y oleínas de origen vegetal. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/aceites-y-ole%C3%ADnas-de-origen-vegetal.
- Flachowsky, G., E. Schulz, R. Kratz and P. Glodek. 2008. Effect of different dietary fat sources on the fatty acid profile of backfat and intramuscular fat of pigs of various sire breeds. *J. Anim. Feed Sci.* 17: 363-371.
- Gallo, C. 2009. Transporte y reposo pre-sacrificio en bovinos y su relación con la calidad de la carne. *In: Bienestar Animal y Calidad de la Carne.* (Eds.) Mota-Rojas, D. y Guerrero-Legarreta, I. Editorial BM Editores. México. 15-36.
- Guerrero, L.I. 2009. Meat spoilage detection. *In: Nolle, L. and F. Toldrá (eds).* Handbook of processed meat and poultry analysis. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp: 445-460.
- Haak, L., S. De Smet, D. Fremaut, K. Van Walleghem and K. Raes. 2008. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *J. Anim. Sci.* 86: 1418-1425.

- Hambrech, E., J.J. Eissen and A. Verstegen. 2003. Effect of processing plant on pork quality. *Meat Sci.* 64: 125.
- Hernández, B.J., J.L. Aquino L. y F.G. Ríos R. 2013. Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Nacameh. Publicación electrónica arbitrada en Ciencia y Tecnología de la carne.* 7(2):41-64.
- Jaturasitha, S., T. Srikanchai, S. Chakeredza, U. Ter Meulen and M. Wicke. 2008. Backfat characteristics of barrows and gilts fed on tuna oil supplemented diets during the growing-finishing periods. *J. Anim. Sci.* 8: 1214-1219.
- Jaturasitha, S., R. Khiaosa, P. Pongpiachan and M. Kreuzer. 2009. Early deposition of n-3 fatty acids from tuna oil in lean and adipose tissue of fattening pigs is mainly permanent. *J. Anim. Sci.* 87: 693-703.
- Jiménez, P.P., S.L. Masson y R.V. Quitral. 2013. Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Rev. Chil. Nutr.* 40: 155-160.
- Jerez, T.N., L. Arenas de M., M. Sulbarán y S. Uzcátegui. 2013. Influencia del tiempo de reposo en las características de la calidad de la canal y de la carne de cerdos. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 47(1): 55-60.
- Kauffman, R.G. 1991. Electronic evaluation of meat quality. *Proc Symposium: Electronic evaluation of meat in support of value based marketing.* Purdue University West Lafayette, Indiana.
- Khiosa, R., P. Chungsirawat, N. Chommanart, M. Kreuzer and S. Jaturasitha. 2011. Enrichment with n-3 fatty acid by tuna oil feeding of pigs: changes in composition and properties of bacon and different sausages as affected by the supplementation period. *Can J. Anim. Sci.* 91: 87-95.
- Kloareg, M., J. Noblet and J. Milgen. 2007. Deposition of dietary fatty acids, *de novo* synthesis and anatomical partitioning of fatty acids in finishing pigs. *Brit. J. Nutr.* 97: 35-44.
- Knoch, B., M. Barnett, N. Roy and W. McNab. 2009. Study of the effects of dietary polyunsaturated fatty acids: Molecular mechanisms involved in intestinal inflammation. *Grasas y aceites;* 60: 8-21.

- Koczanowski, J., W. Migdal and B. Orzechowska. 2004. The effect of rate of fattening and sex of fatteners on fatty acid composition of backfat. *Anim. Sci. Papers and Reports*. 22 (Suppl. 3): 89-92.
- Lisiak, D., E. Grzeskowiak, K. Borzuta, S. Raj, P. Janiszewski and G. Skiba. 2013. Effects of supplementary vegetable and animal fats on the slaughter values of fatteners, meat quality, and fatty acid profile in pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 58: 497-511.
- Mas, G., M. Llavour, D. Coll, R. Roca, I. Diaz, M.A. Oliver, M.E. Gispert and C.E. Realini. 2011. Effect of an elevated monounsaturated fat diet on pork carcass and meat quality traits and tissue fatty acid composition from York-crossed barrows and gilts. *Meat Sci.* 89: 419-425.
- Masood, A., K. Stark and N. Salem. 2005. A simplified and efficient method for the analysis of fatty acid methyl esters suitable for large clinical studies. *J. Lipid Res.* 46: 2299-2305.
- Matthäus, B., K. Aitzetmüller and H. Friedrich. 2003. The new database "Seed oil Fatty Acids" (SOFA). *Grasas y Aceites*. 54: 188-193.
- Meers, S.A., C.R. Dove and M.J. Azain. 2006. The effect of dietary omega-3 fatty acid composition of adipose tissue in grower/finisher pigs. On line: <http://www.ads.uga.edu/documents.pdf>.
- Mota, R.D., M. Becerril H., C. Lemus, P. Sánchez, M. González, A. Olmos S., R. Ramírez and A. Spilsbury M. 2006. Effects of midsummer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Sci.* 73: 404-412.
- Myer, R.O., J. Lamkey, W. Walker, J. Brendemuhl and G. Combs. 2014. Performance and carcass characteristics of swine when fed diets containing canola oil and added copper to alter the unsaturated:saturated ratio of pork fat. *J. Anim. Sci.* 70: 1417-1423.
- Offer, G. and P. Knight. 1988. The structural basis of water holding in meat. Part. 2: General principles and water uptake in meat processing. *In: Developments in Meat Science*. Lawrie R, editor. Basingstoke, Essex: Elsevier Applied Science Publishers. 173-244.

- Nuernberg, K., K. Fisher, G. Nuernberg, U. Kuechenmeister, D. Klosowska, G. Elmanowska-Wenda, I. Fiedler and K. Ender. 2005. Effect of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Sci.* 70: 63-74.
- Pérez, M.I., V. Larrea, A. Quiles and M.A. Lluch. 2009. Microstructure of muscle foods. In: Noller, L.M.L., and F. Toldrá (eds). *Handbook of Muscle Foods Analysis*. CRC Press Boca Raton, Florida, pp: 335-352.
- Pochon, D.O., M.A. Judis, H.A. Kolowski, J.A. Picot y J.M. Navamuel. 2012. Efectos de la suplementación con aceite de pescado sobre la concentración de ácidos grasos en carne de cerdo. *Rev. Vet.* 23(2): 120-125.
- Rojo, G.A., V.G. Pérez M., A. Beyardo U., H.J. Correa C. y J.A. Cuarón I. 2001. Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Técnica Pecuaria México.* 39(3):179-192.
- Ruiz, R.A., A.S. Aluja y G.L. Reyes. 1990. Efecto de la distancia recorrida durante el transporte del ganado bovino sobre su peso y el pH de la carne. *Vet. Méx.* 21(3): 241-245.
- Seneviratne, R.W., M.G. Young, E. Beltranena, L.A. Goonewardene, R.W. Newkirk and R.T. Zijlstra. 2010. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88: 2073-2083.
- Sepúlveda, W., T. Maza M. and R. Mantecon A. 2008. Factors that affect and motivate the purchase of quality-labelled beef in Spain. *Meat Sci.* 80: 1282-1289.
- Skiba, G., E. Polawska, M. Sobol, S. Raj and D. Weremko. 2015. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. *Arch. Anim. Nutr.* 69 (1): 1-16.
- Tseng, Y.Y., C.J. Cheng and R.C. Weng. 2000. Effects of dietary fish oil supplement on fatty acid composition and stability of pork meat and meat production. *J. Anim. Sci.* 13 (Suppl A): 126-129.
- Ursin, V.M. 2003. Modification of plant lipids for human health: development of functional land-based omega-3 fatty acids. *J. Nut.* 133: 4271-4274.

- Valenzuela, R., G. Tapia, M. González and A. Valenzuela. 2011. Omega-3 fatty acids (EPA and DHA) and its application in diverse clinical situations. *Rev. Chil. Nutr.* 38: 356-367.
- Van Laack, R.L.J.M. 1996. The relationship between colour and waterholding capacity of pork: the case of RSE. *Meat Focus International.* 5: 438-440.
- Van Oeckel, M.J. and C.V. Boucque. 1992. Omega-3 fatty acids in pig nutrition: A review. *Landbouwtijdschrift.* 45: 1177-1192.
- Wojtasik, M., S. Raj, G. Skiba, D. Weremko and M. Czaudera. 2012. The effects of diets enriched in omega-3 fatty acids on carcass characteristics and the fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat in pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 21: 635-647.

**CAPÍTULO II. EFECTO DE LA ADICIÓN DE SEMILLA DE LINAZA
MOLIDA EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDA
(EXPERIMENTO I)**

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE SEMILLA DE LINAZA MOLIDA EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDA

Eutiquio Soní Guillermo, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de semilla de linaza molida en dietas para cerdos en finalización, en el comportamiento productivo, concentración de urea en plasma, perfil de ácidos grasos, características de la canal y fisicoquímicas de la carne. Se utilizaron seis niveles (0, 2, 4, 6, 8 y 10%) de linaza en 48 cerdos machos castrados híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso inicial de 50.00 ± 5.00 kg durante ocho semanas en dos etapas experimentales: de 50-75 y de 75-100 kg de peso, distribuidos en un diseño completamente al azar con ocho repeticiones por tratamiento. Los resultados indican que en la primera etapa el nivel de linaza en la dieta afectó las variables productivas y la grasa dorsal final. En la segunda etapa, la adición de linaza afectó las características de la canal pero no las variables productivas y fisicoquímicas de la carne. Al aumentar la cantidad de linaza en la dieta se incrementó la concentración de ácidos grasos en carne de pierna y lomo. Se concluye que agregar 2% de semilla de linaza molida en la dieta mejora la ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia; y con 4% la grasa dorsal, en la primera etapa; para el área del músculo *Longissimus dorsi* y porcentaje de carne magra en la segunda etapa, con 8%. La composición lipídica de la carne con ácidos grasos de cadena larga fue mejor con 8 y 10%.

Palabras clave: semilla de linaza, cerdos, respuesta productiva, características de la canal, perfil de ácidos grasos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different concentrations of ground flaxseed in diets for finishing pigs on growth performance, plasma urea nitrogen concentration, fatty acid profile, carcass and physicochemical characteristics of pork. Six levels (0, 2, 4, 6, 8 and 10%) of flaxseed were fed to 48 hybrid (Landrace×Yorkshire×Pietrain) barrows with 50.00 ± 5.00 kg initial body weight for eight weeks in two experimental stages: 50-75 and 75-100 kg, allotted in a completely randomized design with eight replicates per treatment. The results indicate that in the first stage (50-75 kg) the flaxseed level in the diet affected growth performance variables and final backfat thickness. In the second stage, adding flaxseed affected carcass characteristics but did not growth and physicochemical variables of pork. By increasing the dietary amount of flaxseed, fatty acid concentration in *Biceps femoris* and *Longissimus dorsi* muscles increased. It was concluded that adding 2% of ground flaxseed to diet improves average daily gain, average daily feed intake and feed:gain ratio; and 4% increases backfat thickness in the first stage; for the second phase, *longissimus dorsi* area and lean meat percentage improve with 8%. Long chain fatty acids increase in pork with 8 and 10%.

Keywords: flaxseed, pigs, growth performance, carcass characteristics, fatty acid profile.

2.1. INTRODUCCIÓN

El mercado alimenticio demanda productos que además de su aporte nutricional ofrezcan beneficios en la salud de quienes los consumen, mediante la ingesta de algún nutriente que convencionalmente no es obtenido en concentración adecuada a través de la dieta (Pariza *et al.*, 2004). La carne es una opción mediante la cual el consumidor puede adquirir sustancias de alto valor nutracéutico, entre los cuales se encuentran los ácidos grasos Ω -3, ya que el incremento en el consumo de ácidos grasos mediante la dieta modifica la composición lipídica de la carne (Wood *et al.*, 2008).

Así el aumento en el consumo de Ω -3 mejora la salud humana al reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Masood *et al.*, 2005) y el mantenimiento de las membranas celulares (Valenzuela *et al.*, 2011).

El consumo de semillas con alto contenido de ácido linolénico o el aceite mismo (Matthäus *et al.*, 2003) puede ser una herramienta para aumentar el aporte de ácidos grasos Ω -3 en la alimentación. La semilla de linaza molida es una fuente vegetal rica en ácido α -linolénico (Ω -3), lo que la convierte en una alternativa para la industria porcícola, en términos de que un incremento en los niveles de linaza en la dieta aumenta la cantidad de ácido linolénico en la carne sin disminuir la estabilidad oxidativa, afectar el color, ni el sabor (Corino *et al.*, 2008), ya que el uso de fuentes de Ω -3 de origen marino, como el aceite de pescado, puede generar olores y sabores desagradables en la carne, deteriorando su calidad (Tseng *et al.*, 2000).

Los cerdos alimentados con harina de linaza tienden a incrementar el área del músculo *Longissimus dorsi* y el grosor de la grasa dorsal, con lo cual se alcanza un mayor rendimiento y calidad de canal (Eastwood *et al.*, 2009). Además, el consumo de ingredientes ricos en Ω -3 aumenta la inmunidad y disminuye la expresión del factor de necrosis tumoral en el músculo (Zhan *et al.*, 2009) y mejora el crecimiento de lechones durante y después del destete (Rooke *et al.*, 2001). Más aún, el comportamiento productivo no se afecta cuando se utilizan niveles inferiores a 5% de aceite (Skiba *et*

al., 2015) o pasta de linaza (Corino *et al.*, 2008) y 3% de harina de linaza (Haak *et al.*, 2008).

El uso de semilla entera de linaza ha sido incorporada a dietas para cerdos en etapa de finalización (Haak *et al.*, 2008; Kralik *et al.*, 2010; Karolyi *et al.*, 2012); sin embargo, no se ha determinado cual es la concentración más apropiada que permita incrementar el contenido Ω -3 en la carne, ya que suponemos que existe un límite de incorporación máximo, debido a que el elevado contenido en la dieta puede tener efectos adversos en las variables productivas, características de la canal y en la calidad de la carne.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la concentración óptima de semilla de linaza molida en dietas para cerdos en finalización sin afectar negativamente la respuesta productiva, la concentración de urea en plasma, el perfil de ácidos grasos, las características de la canal y físico-químicas de la carne.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Localización

El estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Estado de México, localizada a 98° 48' 27" O y a 19° 48' 23" N y una altitud de 2,241 msnm, que tiene clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988).

2.2.2. Animales y dietas experimentales

Los tratamientos consistieron en la inclusión de seis niveles de semilla de linaza molida: (T1: 0%, testigo; T2: 2%; T3: 4%; T4: 6%; T5: 8%; y T6: 10%) en dietas para cerdos en finalización, divididos en dos etapas experimentales (50-75 y 75-100 kg de peso vivo). Se utilizaron 48 cerdos machos castrados híbridos (LandracexYorkshirexPietrain) con peso promedio inicial de 50.00 ± 5.00 kg durante

ocho semanas, distribuidos en un diseño completamente al azar. Las dietas se formularon con el comando *Solver* (Microsoft Excel, 2007), de acuerdo con los requerimientos sugeridos por el National Research Council (NRC, 2012) para las dos etapas experimentales (Cuadros 1 y 2).

2.2.3. Variables productivas y características de la canal

Las variables de respuesta estudiadas en la primera etapa fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; y peso vivo final de los cerdos, PVF); características de la canal (grasa dorsal, GD; área del músculo *Longissimus dorsi*, AML); y concentración de urea en plasma (CUP).

En la segunda etapa las variables evaluadas fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF); características de la canal (grasa dorsal, GD inicial [GDI] y final [GDF]; porcentaje de carne magra, PCM inicial [PCMI] y final [PCMF]; área del músculo *Longissimus dorsi*, AML inicial [AMLI] y final [AMLF]); y concentración de urea en plasma. Las variables GDP y CAL se midieron cada siete días y con esta información se calculó CA. La GD y AML se midió al nivel de la décima costilla utilizando un ultrasonido de tiempo real (SonoVet 600, Medison, Inc., Cypress, California, USA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los PVI y PVF se calculó GCM y el PCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council (1991).

Al finalizar cada una de las etapas experimentales, se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos *Vacutainer*® con heparina, éstas se colocaron en hielo hasta centrifugarse (centrifuga SIGMA 2-16k, Alemania) a 2,500 rpm por 20 min, para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenó en un congelador (SANYO MDF-436, EUA) a -20 °C hasta su análisis, para la determinación de la urea en plasma (Chaney y Marbach, 1962).

2.2.4. Características físico-químicas de la carne

Las características físico-químicas de la carne se evaluaron al final de la segunda fase experimental, cuando los animales alcanzaron 100 kg de peso vivo; se sacrificaron cuatro animales por tratamiento y se tomaron muestras de pierna (*Bíceps femoris*) y lomo (*Longissimus dorsi*); se procedió a medir color, pH, capacidad de retención de agua (CRA) y textura. Parte de las muestras de carne se congelaron para el análisis posterior del perfil de ácidos grasos. El proceso de sacrificio se realizó en el rastro de la granja, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (SAGARPA, 1995).

La determinación del color se efectuó a las 24 h *post-mortem* utilizando un colorímetro portátil (Hunter Lab, Chroma meter CR-410, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan). El color blanco se calibró en tres diferentes puntos sobre el área superficial de la pierna y lomo del cerdo para medir las variables luminosidad (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*). El pH se midió directamente en el músculo de la pierna y lomo a las 24 h *post-mortem* con un potenciómetro portátil de punción (Hanna modelo pH 1100).

La CRA en lomo y pierna se realizó utilizando el método propuesto por Guerrero *et al.* (2002) a las 24 h *post-mortem*: 2 g de carne finamente picada se colocó en un tubo de centrifuga, se homogeneizó con 5 mL de una solución 0.6 M de cloruro de sodio agitándose en un vortex durante 1 min; las muestras se dejaron reposar durante 30 min en un refrigerador a 4 °C y posteriormente se centrifugaron durante 15 min a 10,000 rpm. El sobrenadante fue decantado y medido en una probeta. El volumen retenido de agua se reporta como la cantidad de agua retenida en 100 g de carne.

La determinación de textura también se realizó 24 h *post-mortem*. Se tomaron muestras de carne de pierna y lomo, se utilizó un analizador de textura TA-XT2 (Textura Technologies Corp., Scarsdale, NY), utilizando una navaja de Warner-Bratzler. Se cortaron cubos de carne cruda de un cm por lado y se colocaron con las fibras del músculo transversalmente al filo de la navaja, usando el registro de la fuerza máxima para cortar y la fuerza conocida (Guerrero *et al.*, 2002).

2.2.5. Perfil de ácidos grasos en pierna y lomo

Para la determinación del perfil de ácidos grasos se utilizó el cromatógrafo HP® (Modelo 6890), estándar de ésteres metílicos Supelco 37 (Component FAME Mix Catálogo N0.47885-U), con una columna Supelco (SP™-2660 FUSED SILICA Capillary Column, 100 m×0.25 mm×0.2 μm *film thickness*). Como gas portador se utilizó helio a 0.8 mL/min; la inyección de muestras fue 1 μL en modo Split 1:10 manualmente; con una rampa de temperatura inicial de 140 °C por 1 °C minuto⁻¹, con un incremento a 3 °C min⁻¹ a una temperatura de 210 °C, y un decremento de 0.7 °C min⁻¹ y una temperatura final de 235 °C. El tiempo total para analizar cada muestra fue de 60 minutos.

2.2.6. Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando un diseño completamente al azar y el procedimiento GLM de SAS, y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$; SAS, 2010). El peso inicial se utilizó como covariable, ya que afectó a todas las variables productivas y las características de la canal, por lo que se realizó un ajuste de medias de las variables en las dos etapas.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Variables productivas

La concentración de linaza en la dieta modificó ($P \leq 0.05$) la GDP, CA, PVF y GDF, pero no al CAL y el AML final ($P > 0.05$) en cerdos de 50-75 kg, obteniéndose una mejor respuesta con 2% (Cuadro 3). Eastwood *et al.* (2009) reportaron que el nivel de harina de linaza (0, 5, 10 y 15 %) afectó las variables productivas en cerdos de 32-60 kg de peso, con efecto cuadrático en el nivel de 5% para GDP, pero no en cerdos de 60-85 kg, resultados que difieren del presente estudio, lo que puede deberse a que los niveles de inclusión utilizados por dichos autores fueron mayores a los de la presente investigación y en diferente etapa de producción. En las características de la canal se observó la disminución de la GDF con concentraciones mayores a 4, 6, 8 y 10% de

semilla de linaza, lo que probablemente se deba a que con estos niveles hubo menor GDP y PVF, y por lo tanto también se vio reflejado en esta variable.

Estos resultados son diferentes a los encontrados por Lisiak *et al.* (2013) quienes mencionan que los niveles de aceite de linaza 1, 2.3 y 2.5% no afectaron las variables GDF y AML en cerdos de 25-60 y 60-105 kg de peso vivo; a pesar de que estos autores utilizaron hasta 2.5% de aceite de linaza vs un nivel máximo de 10% semilla de linaza molida utilizada en el presente estudio, que equivale aproximadamente a 1.2 kg de aceite de linaza dependiendo del método de extracción (Eastwood *et al.*, 2009); se puede inferir que estos niveles (2.5% de aceite y 10% de semilla de linaza molida) no afectan las características de la canal, específicamente el AML para esta etapa de producción. Por otra parte, a pesar de que los cerdos tuvieron diferente peso en las investigaciones mencionadas anteriormente, la grasa dorsal no se modificó, y se explica debido a que en la presente investigación después del 4% de semilla de linaza la GDP y PVF fueron iguales y se vio reflejada en esta variable. Por otra parte Mucha y Rózycki (2004) encuentran que a mayor edad y peso los animales tienden acumular más grasa, contrario a la presente investigación. Los niveles de semilla de linaza no tuvieron efecto ($P>0.05$) sobre la concentración de urea en plasma (CUP) durante las dos etapas experimentales, esto puede deberse a que en todas las dietas se mantuvo constante la concentración y la relación entre los aminoácidos, además, que en todos los tratamientos los niveles de PC y EM fueron iguales, es decir, las dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas. Este resultado difiere de los encontrados en otras investigaciones (Abreu *et al.*, 2007; López *et al.*, 2010) donde se observó que cuando se modifica la relación de los aminoácidos con respecto a lisina se modifica la concentración de urea en plasma.

En la segunda etapa no se encontraron diferencias ($P>0.05$) en ninguna de las variables productivas (Cuadro 4); en cuanto a las características de la canal, se observan diferencias en AMLF ($P\leq 0.09$) y PCMF ($P\leq 0.04$) por efecto del tratamiento (Cuadro 5), lo que difiere de lo encontrado por Wojtasik *et al.* (2012), quienes mencionan que los niveles de aceite de linaza de 0, 1 y 2.5% no afectaron las variables GD y AML en cerdos de 25-60 y 60-105 kg de peso vivo.

Skiba *et al.* (2015) evaluaron la adición de 0 y 5% de aceite de linaza, en dietas para cerdos de 60 a 105 kg y no observaron diferencias significativas en CA, GDP y PVF. Haak *et al.* (2008) mencionan que al adicionar semilla de linaza molida (0 y 3%) a dietas para cerdos en finalización (70 kg de peso), no detectaron diferencias en ganancia diaria de peso y consumo de alimento, resultados similares a los del presente estudio. De igual manera Eastwood *et al.* (2009) reportaron que el nivel de harina de linaza (0, 5, 10 y 15%) no afectó las variables productivas en cerdos de mayor peso (85-115 y de 32-115 kg de peso).

Aunque los autores antes mencionados utilizaron desde cinco hasta 15% de harina de linaza vs el nivel máximo de 10% de semilla de linaza molida utilizada en el presente estudio, se infiere que se pueden adicionar estos niveles sin afectar las variables productivas. Sin embargo, las características de la canal (PCMF y AMLF) se modificaron al utilizar diferentes niveles de semilla de linaza molida en la segunda etapa del presente estudio.

2.3.2. Características físico-químicas

En el pH, color (L^* , a^* y b^*), y CRA de carne de lomo y de pierna no se observó efecto ($P > 0.05$) de la concentración de semilla de linaza; sin embargo, sí hubo efecto para textura ($P \leq 0.04$) en carne de pierna (Cuadros 6 y 7), aunque no en lomo. Estos resultados se explican probablemente a que en el presente estudio no se modificó el pH por efecto de los diferentes tratamientos y los valores se encontraban en un rango para una carne normal que van de 5.4 a 5.8 (Guerrero, 2009) y por ende no se afectaron las demás variables. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Lisiak *et al.* (2013) quienes observaron que con 1.0, 2.3 y 2.5% de aceite de linaza no cambiaron las variables físico-químicas de la carne de lomo y pierna a las 24 y 45 h *post-mortem* en cerdos de 65 kg de peso vivo. Los valores de pH más bajo (5.40) y más alto (5.69) se observaron en el músculo de la pierna; mientras que en lomo fueron 5.43 y 5.50, respectivamente (Cuadros 6 y 7); ello a pesar de no haber diferencias significativas por efecto de los niveles de semilla de linaza. Estos valores indican que

no se ha iniciado la producción de compuestos de putrefacción como aminas biogénicas, aldehídos, cetonas y ácidos grasos de cadena corta, ya que se menciona que con valores inferiores a 5.4 y superiores a 5.8 *post-rigor* puede haber indicios de descomposición de la carne (Guerrero, 2009); de ello se deduce que los valores registrados en el presente estudio están en los rangos de pH considerados para carne normal (Flores *et al.*, 1999).

El color es una variable que los consumidores relacionan con un producto fresco; en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en L^* , a^* y b^* . El grado de acidificación está relacionado con la CRA: a mayor pH mayor retención de agua. Algunos estudios reportan la CRA en pierna de 1.98-2.54% y en lomo de 3.82-5.15% (Homsy y Francisco, 2003). En el presente estudio se obtuvo una CRA con un valor mínimo de 0.88 ml y el más alto de 1.0 ml en pierna y en lomo 0.85 y 0.97 ml; sin embargo, no se vieron cambios por efecto de los diferentes niveles de semilla de linaza molida adicionada a la dieta, lo que puede deberse a que el pH no se modificó por el tratamiento y por lo tanto se reflejó en esta variable. Esto coincide con Haak *et al.* (2008) quienes no encontraron diferencias significativas en color, pH y CRA al probar niveles de 0 y 3% de linaza molida; ni cuando se evaluaron dietas con y sin semilla de linaza en pH, color y CRA (Nuernberg *et al.*, 2005; Mas *et al.*, 2011).

La textura de la carne se define como la resistencia de un tejido al corte aplicando una fuerza externa (Guerrero *et al.*, 2002). Esta variable se vio afectada en pierna por efecto del tratamiento (Cuadro 6); la textura en pierna mejoró ($P \leq 0.04$) con 6% de semilla de linaza molida ya que se obtuvo menor fuerza al corte, lo que se explica porque probablemente con este tratamiento los ácidos grasos poli-insaturados se incorporaron al tejido graso de la carne (Pérez *et al.*, 2009); pero en lomo no se detectaron diferencias significativas (Cuadro 7). Los resultados en textura de pierna en la presente investigación son diferentes a lo reportado por Lisiak *et al.* (2013), quienes no encontraron diferencias significativas de textura en pierna y lomo al adicionar 1, 2.3 y 2.5% de aceite de linaza; esto a pesar de que se utilizaron niveles más altos de semilla de linaza molida (6%) vs 2.5% de aceite de linaza. Eastwood *et al.* (2009)

mencionan que se pueden obtener hasta 120 g de aceite kg^{-1} de semilla de linaza, dependiendo del método de extracción, por lo que en el presente estudio, 6% de semilla de linaza molida proporciona una menor cantidad de aceite (720 g), lo que da como resultado una mejor textura con respecto a 2.5% de aceite de linaza (Lisiak *et al.*, 2013).

2.3.3. Perfil de ácidos grasos en pierna

En el perfil de ácidos grasos saturados y mono-insaturados en pierna no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) por efecto de los tratamientos (Cuadro 8). Estudios realizados por Haak *et al.* (2008) indican que al agregar 0 y 3% de semilla de linaza, no hubo diferencias en la proporción de ácidos grasos saturados y mono-insaturados del músculo *Longissimus dorsi* torácico, resultados similares a los observados en la presente investigación a pesar de que los niveles utilizados fueron mayores; sin embargo, dichos autores reportaron que los ácidos grasos linolénico y cis-11, 14, 17-eicosatrienoico aumentaron al utilizar 3% de semilla de linaza en dietas para cerdos de 70 kg de peso. Los ácidos grasos poli-insaturados, ácidos grasos que pertenecen a la familia de los Ω -3 (linolénico y cis 11, 14, 17 eicosatrienoico) se afectaron al incrementar los niveles de linaza molida, por lo que se puede inferir que con 3% de aceite de linaza vs 10% de semilla de linaza molida se modifica el perfil de ácidos grasos de cadena larga. Lisiak *et al.* (2013) concluyeron que el perfil de ácidos grasos saturados no se afecta por los niveles 0, 1, 2.3 y 2.5% de aceite de linaza en músculo *Triceps brachii*; sin embargo, los ácidos grasos mono-insaturados (ácido cis-11-eicosaenoico) se elevaron al incrementar los niveles de aceite en la dieta. De igual manera, la concentración de ácidos grasos poli-insaturados (linolénico, araquidónico, cis-11, 14, 17-eicosatrienoico y cis-11, 14-eicosadienoico) se incrementaron.

Los resultados del presente estudio muestran que se modificaron los ácidos linolénico y cis-11, 14, 17-eicosatrienoico al aumentar los niveles de linaza molida hasta 8 y 10%. Skiba *et al.* (2015) evaluaron tres fuentes de ácidos grasos (aceite de linaza, canola y aceite de pescado) con 5% cada uno, en dietas para cerdos de 60 a 105 kg, detectando diferencias en ácidos grasos poli-insaturados, encontrando mayor cantidad de ácidos

grasos Ω -3 con el aceite de linaza en comparación con los aceites de canola y de pescado, resultados semejantes a los de este estudio, ya que el ácido linolénico se incrementó al elevar los niveles de linaza molida, lo cual es benéfico, ya que éste ácido graso es el precursor de EPA y DHA que sirven en la prevención de enfermedades cardiovasculares y fortalecimiento del sistema inmune (Zhan *et al.*, 2009).

En ácidos grasos saturados en carne del lomo hubo diferencias ($P \leq 0.05$) en ácidos esteárico y araquídico por la cantidad de semilla de linaza molida (Cuadro 9) adicionada a la dieta, y se explica porque al adicionar los niveles de semilla de linaza se incrementaron los ácidos grasos mono-insaturados, específicamente el eláidico, y los poli-insaturados linolénico y cis 11,14,17 eicosatrienoico, contrario a los ácidos grasos saturados esteárico y araquídico, que se vieron disminuidos con 4%, lo que difiere de lo encontrado por Lisiak *et al.* (2013), quienes no observaron efecto con niveles de aceite de linaza 0, 1, 2.3 y 2.5% en cerdos híbridos [(Polish Large White \times Danish Landrace) \times Durok] de 25 a 60 kg de peso. En los resultados de ácidos grasos mono-insaturados en la presente investigación, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en cis-10-heptadecaenoico, oléico y cis-11-eicosaenoico, pero se detectaron diferencias en el ácido eláidico ($P \leq 0.05$), y se consiguió una mayor concentración con los niveles de 8% de semilla de linaza molida. Estos resultados son semejantes a los reportados por Liziak *et al.* (2013), quienes señalan que al incrementar los niveles de aceite de linaza se aumentan los ácidos monoinsaturados oléico, palmitoléico y cis-11-eicosaenoico. Por su parte, Betz *et al.* (2011) mencionan que al adicionar dietas con 5% de aceite de soya en un periodo de 22 a 82 días de vida de los cerdos el contenido total de ácidos grasos poli-insaturados aumenta de 17.2% a 29.6%. Koczanowski *et al.* (2004) determinaron que en cerdos de 100 kg de peso el contenido de ácidos grasos incrementan los saturados de 37.7 a 40.4%, mientras que los ácidos grasos poli-insaturados decrecen de 16.1 a 12.9% cuando la grasa dorsal va de 12 a 16 mm; los resultados de estos autores contrastan con lo obtenido en el presente experimento en donde la grasa dorsal inicial fue 8.26 mm y la grasa dorsal final fue de 12.95 mm, mientras que el contenido de ácidos grasos saturados se ve disminuido; sin embargo, el contenido de ácidos grasos poli-insaturados se incrementó, principalmente el ácido linolénico ($P \leq 0.0001$) y cis 11,14,17 eicosatrienoico ($P \leq 0.0001$).

2.4. CONCLUSIONES

Los niveles que mejoran la GDP, CA, PVF y GDF fueron 2 y 4%; para las características físico-químicas en textura y de la canal (PCMF; AMLF) fueron 6 y 8%, respectivamente; mientras que para el perfil de ácidos grasos de cadena larga, específicamente Ω -3 en carne de pierna y lomo, fue con 8 y 10% de semilla de linaza, respectivamente.

2.5. LITERATURA CITADA

- Abreu, M.L.T., J.L. Donzele, O.R.F. Miranda, A.L.S. Oliveira, F. Santos e A.A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizado-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. *Rev. Bras. Zoot.* 36: 54-61.
- Betz, J.M., M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.L. Nelssen, J.M. DeRouchey, R.C. Sulabo and R.D. Goodband. 2011. Effects of choice white grease and soybean oil on growth performance, carcass characteristics and carcass fat quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89: 404-413.
- Chaney, A.L. and E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Corino, C., M. Musella and J. Mouro. 2008. Influence of extruded linseed on growth, carcass composition and meat quality of slaughtered pigs at 110 and 160 kilograms of live weight. *J. Anim. Sci.* 86: 1850-1860.
- Eastwood, P.R.K., A.D. Beaulieu and P. Leterme. 2009. Nutritional value of flaxseed meal for swine and its effects on the fatty acid profile of the carcass. *J. Anim. Sci.* 87: 3607-3619.
- Flores, M., E. Armero, M.C. Aristoy and F. Toldrá. 1999. Sensory characteristics of cooked pork loin as affected by nucleotide content and postmortem meat quality. *Meat Sci.* 51: 53-59.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4a edición. México D. F. 217 p.
- Guerrero, L.I. 2009. Meat spoilage detection. *In: Nolle, L. and F. Toldrá (eds). Handbook of processed meat and poultry analysis.* CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp: 445-460
- Guerrero, L.I., A.E. Ponce y M.L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Metropolitana Unidad Iztapalapa. D.F. México.
- Haak, L., S. De Smet, D. Fremaut, K. Van Walleghem and K. Raes. 2008. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *J. Anim. Sci.* 86: 1418-1425.

- Homsí, B.L. A. and P.L. Francisco. 2003. Water holding capacity (WHC) and subjective color assessment of different preclassified swine carcass cuts according to the longissimus dorsi pH. *Proc. 49th Internat. Congress of Meat Sci. and Techn.* 59: 573-582.
- Karolyi, D., D. Rimac, K. Salajpal, K. Kljak, and I. Štoković. 2012. The influence of dietary linseed on alpha-linolenic acid and its longer-chain n-3 metabolites content in pork and back fat. *Veterinarski Archiv*, 4, 327-339.
- Koczanowski, J., W. Migdal and B. Orzechowska. 2004. The effect of rate of fattening and sex of fatteners on fatty acid composition of backfat. *Anim. Sci. Papers and Reports*. 22 (Suppl. 3): 89-92.
- Kralík, G., V. Margeta, P. Suchy and E. Straková. 2010. Effects of dietary supplementation with rapeseed and linseed oil on the composition of fatty acids in porcine muscle tissue. *Acta Vet.* 79: 363-367.
- Lisiak, D., E. Grzeskowiak, K. Borzuta, S. Raj, P. Janiszewski and G. Skiba. 2013. Effects of supplementary vegetable and animal fats on the slaughter values of fatteners, meat quality, and fatty acid profile in pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 58: 497-511.
- López, M., J.L. Figueroa, M.J. González, L.A. Miranda, V. Zamora, y J.L. Cordero. 2010. Niveles de lisina y treonina digerible en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento. *Arch. Zoot.* 59 (226): 205-216.
- Mas, G., M. Llavall, D. Coll, R. Roca, I. Díaz, M.A. Oliver, M.E. Gispert and C.E. Realini. 2011. Effect of an elevated monounsaturated fat diet on pork carcass and meat quality traits and tissue fatty acid composition from York-crossed barrows and gilts. *Meat Sci.* 89: 419-425.
- Masood, A., K. Stark and N. Salem. 2005. A simplified and efficient method for the analysis of fatty acid methyl esters suitable for large clinical studies. *J. Lipid Res.* 46: 2299-2305.
- Matthäus, B., K. Aitzetmüller and H. Friederich. 2003. The new database "Seed oil fatty acids" (SOFA). *Grasas y Aceites*. 54: 188-193.
- Microsoft Excel. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. 2007.

- Mucha, A. and M. Rózycki. 2004. Backfat thickness in pigs as related to lower or higher meat content of carcass. *Anim. Sci. Papers and Reports*. 22 (Suppl. 3): 175-182.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd Ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. 16 pp.
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient requirements tables and feed ingredient composition. Nutrient Requirements of swine 11th. National Academy Press, Washington, DC. pp: 208-239.
- Nuernberg, K., K. Fischer, G. Nuernberg, U. Kuechenmeister, D. Kłosowska, G. Elmanowska-Wenda, I. Fiedler and K. Ender. 2005. Effect of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Sci*. 70: 63-74.
- Pariza, M.W. 2004. Perspective on the safety and effectiveness of conjugate linoleic acid. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 1132-1136.
- Pérez, M.I., V. Larrea, A. Quiles and M.A. Lluch. 2009. Microstructure of muscle foods. *In: Noller, L.M.L., and F. Toldrá (eds). Handbook of Muscle Foods Analysis. CRC Press Boca Raton, Florida, pp: 335-352.*
- Rooke, J.A., A.G. Sinclair and M. Ewen. 2001. Changes in piglet tissue composition at birth in response to increasing maternal intake of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids are non-linear. *Brit. J. Nutr.* 86: 461-470.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. SAGARPA. *In: <http://www.senasica.gob.mx/?doc=529>*
- Skiba, G., E. Polawska, M. Sobol, S. Raj and D. Weremko. 2015. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. *Arch. Anim. Nutr.* 69 (1): 1-16.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.
- Tseng, Y.Y., C.J. Cheng and R.C. Weng. 2000. Effects of dietary fish oil supplement on fatty acid composition and stability of pork meat and meat production. *J. Anim. Sci.* 13 (Suppl A): 126-129.

- Valenzuela, B.R., O.G. Tapia, E.M. González and B.A. Valenzuela. 2011. Omega-3 fatty acids (EPA and DHA) and its application in diverse clinical situations. *Rev. Chilena Nutric.* 38: 356-367.
- Wojtasik, M., S. Raj, G. Skiba, D. Weremko and M. Czaudera. 2012. The effects of diets enriched in omega-3 fatty acids on carcass characteristics and the fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat in pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 21: 635-647.
- Wood, J.D., M. Enser, A.V. Fisher, G.R. Nute, P.R. Sheard, R.I. Richardson and F.M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78(4): 343-358.
- Zhan, Z.P., F.R. Huang, J. Luo, J.J. Dai, X.H. Yan and J. Peng. 2009. Duration of feeding linseed diet influences expression of inflammation-related genes and growth performance of growing-finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 87: 603-611.

**Cuadro 1. Dietas experimentales para cerdos en finalización
(50-75 kg; Experimento 1)**

Ingrediente (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Sorgo	79.71	77.25	76.38	75.50	74.63	73.76
Pasta de soya	15.03	15.82	15.03	14.24	13.44	12.65
Aceite de soya	2.25	1.96	1.63	1.30	0.97	0.89
Linaza molida	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
Carbonato de calcio	0.92	0.91	0.90	0.89	0.87	0.86
Ortofosfato de calcio	0.89	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
Vitaminas y minerales ^{B y C}	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Biolys ^A	0.46	0.43	0.44	0.44	0.45	0.46
DL-Metionina	0.11	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08
L-Treonina	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Triptófano	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (%)						
EM (Mcal/kg)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
Proteína cruda	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
Arginina	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Fenilalanina	0.62	0.62	0.60	0.58	0.57	0.55
Histidina	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.26
Isoleucina	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Leucina	1.31	1.31	1.28	1.25	1.22	1.18
Lisina	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Metionina	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Met+Cist	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Treonina	0.52	0.50	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptófano	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Valina	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Ca	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
P	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

^A Aporta 50% de lisina. ^B Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido. pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^C Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. T=Tratamiento.

**Cuadro 2. Dietas experimentales para cerdos en finalización
(75-100 kg; Experimento 2)**

Ingrediente (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Sorgo	86.54	85.69	84.84	83.61	81.02	78.43
Pasta de soya	9.19	8.39	7.58	6.73	5.74	4.74
Aceite de soya	0.93	0.60	0.26	0.00	0.00	0.00
Linaza molida	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
Carbonato de calcio	0.55	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71
Ortofosfato de calcio	0.75	0.68	0.62	0.56	0.52	0.49
Vitaminas y minerales ^{B y C}	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys ^A	0.73	0.75	0.77	0.79	0.82	0.84
DL-Metionina	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Tipto-plus	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
L-Treonina	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (%)						
EM	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
PC	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50
Arginina	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60
Fenilalanina	0.57	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62
Histidina	0.26	0.27	0.27	0.28	0.29	0.30
Isoleucina	0.45	0.45	0.45	0.44	0.43	0.43
Leucina	1.24	1.25	1.26	1.27	1.26	1.26
Lisina	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Metionina	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Metionina+cistina	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Treonina	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Triptófano	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Valina	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53
Ca	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
P	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

^AAporta 50% de lisina. ^BProporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^CAportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. T=Tratamiento.

Cuadro 3. Comportamiento productivo y características de la canal de cerdos en finalización (50-75 kg) alimentados con seis niveles de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 1)

Tratamientos	Semilla de linaza (%)	CAL (kg/d)	GDP (kg d ⁻¹)	CA	PVF (kg)	GDF (mm)	AMLF (cm ²)	CUP mg dL ⁻¹
1	0	2.84	1.202ab	2.36ab	83.61ab	9.42a	26.78	29.38
2	2	2.96	1.428a	2.09 ^a	89.94a	9.59a	28.68	28.89
3	4	2.74	0.884b	3.13b	74.69b	8.07b	24.75	29.17
4	6	2.68	0.856b	3.15b	73.89b	8.22b	25.56	29.47
5	8	3.10	0.986b	3.19b	77.50b	8.37b	28.19	28.59
6	10	3.29	0.952b	3.49b	76.65b	8.79ab	26.57	28.77
EEM		0.21	0.04	0.24	1.26	0.42	1.24	2.41
P		0.39	0.0001	0.0015	0.0001	0.06	0.23	0.73

^{abc} Medias con distinta literal difieren significativamente ($P \leq 0.05$). CAL= Consumo de alimento, GDP= Ganancia de peso, CA= Conversión alimenticia, PVI= Peso inicial, PVF= Peso final, GCM= Ganancia de carne magra, GDF: Grasa dorsal final, AMLF= Area del músculo *Longissimus dorsi* final, CUP=Concentración de urea en plasma.

Cuadro 4. Comportamiento productivo de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2)

Tratamientos	Semilla de linaza (%)	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PVF (kg)	GCM (kg)
1	0	0.860	3.85	4.61	93.88	0.169
2	2	0.773	3.77	4.97	92.14	0.151
3	4	0.835	3.93	4.87	93.42	0.147
4	6	0.909	4.03	4.81	94.89	0.186
5	8	0.885	3.77	4.41	94.43	0.180
6	10	0.819	3.48	4.48	93.06	0.162
EEM		0.06	0.25	0.41	1.27	0.02
P		0.75	0.78	0.91	0.74	0.49

^{abc} Medias con distinta literal difieren significativamente ($P \leq 0,05$). ^γ En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PVI = Peso vivo inicial, PVF = Peso vivo final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 5. Características de la canal de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2)

Tratamientos	Semilla de linaza (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	CUP mg dL ⁻¹
1	0	9.42	13.03	26.78	32.61a	38.71	37.84a	28.92
2	2	9.35	12.95	28.08	33.34a	39.33	38.21a	28.82
3	4	8.26	11.79	25.21	28.91b	38.64	37.02b	28.33
4	6	8.36	12.69	25.91	33.07a	38.75	37.96a	28.02
5	8	8.44	11.63	28.56	34.69a	39.79	38.89a	28.16
6	10	8.55	12.36	26.43	32.42a	38.95	38.02a	28.31
EEM		0.39	0.65	1.16	1.37	0.45	0.39	1.87
P		-	0.52	-	0.09	-	0.04	0.34

^{abc} Medias con distinta literal difieren significativamente ($P < 0.1$). y En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *Longissimus dorsi* inicial, AMLF = Área del músculo *Longissimus dorsi* final, CMI = Carne magra inicial, CMF = Carne magra final. CUP=Concentración de urea en plasma.

Cuadro 6. Características físico-químicas de la carne en pierna de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2)

Tratamientos	Semilla de linaza (%)	pH	L*	a*	b*	CRA	Textura (gr)
1	0	5.69	57.07	17.15	7.12	1.00	1808.0bc
2	2	5.58	55.48	16.57	7.09	0.98	2237.7a
3	4	5.40	56.81	17.53	6.40	0.88	2067.9ab
4	6	5.58	54.90	16.92	6.55	0.90	1601.1c
5	8	5.41	52.90	18.73	6.43	0.91	1888.9abc
6	10	5.45	56.79	15.85	6.48	1.08	1640.0c
EEM		0.09	1.90	0.73	0.61	0.13	150.36
P		0.24	0.62	0.13	0.93	0.85	0.04

^{abc} Medias con distinta literal difieren significativamente ($P \leq 0.05$). En todas las variables físicoquímicas se agregó el error estándar de la media (EEM). ; L* = Luminosidad; a* = Índice rojo; b* = Índice amarillo; CRA = Capacidad de retención de agua.

Cuadro 7. Características físico-químicas de la carne en lomo de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2)

Tratamiento	Semilla de linaza (%)	pH	L*	a*	b*	CRA	Textura (gr)
1	0	5.43	58.61	15.29	6.90	0.85	1686.6
2	2	5.45	56.18	15.80	7.58	0.88	1934.9
3	4	5.51	59.17	15.75	7.15	0.97	2279.1
4	6	5.50	59.55	15.06	7.23	0.96	1886.0
5	8	5.49	54.55	15.80	6.11	0.86	1566.4
6	10	5.47	56.71	14.99	6.53	0.88	3624.3
EEM		0.05	1.87	0.85	0.89	0.10	546.01
P		0.64	0.46	0.98	0.95	0.94	0.18

^{abc} Medias con distinta literal difieren significativamente ($P \leq 0.05$). En todas las variables físicoquímicas se agregó el error estándar de la media (EEM). ; L*= Luminosidad; a*= Índice rojo; b*= Índice amarillo; CRA= Capacidad de retención de agua.

Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos de carne de pierna de cerdo en finalización alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2)

Ácidos grasos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	EEM	P
Ác. Láurico	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.11	0.01	0.83
Ác. Mirístico	1.47	1.46	1.40	1.42	1.44	1.38	0.06	0.72
Ác. Palmítico	25.29	24.92	23.92	23.23	23.69	22.86	0.55	0.06
Ác. Esteárico	11.44	11.12	10.27	11.17	10.59	10.72	0.58	0.72
Ac. Araquídico	0.23	0.19	0.20	0.26	0.24	0.20	0.03	0.73
ΣAGS	38.52	37.78	35.89	36.18	36.29	35.27	-	-
Ác. Palmitoléico	3.64	3.61	3.86	3.21	3.45	3.41	0.32	0.73
Ác. Cis-10-heptadecaenoico	0.30	0.27	0.30	0.34	0.29	0.27	0.02	0.08
Ác. Eládico	0.20	0.22	0.19	0.22	0.23	0.20	0.01	0.52
Ác.oleico	48.52	47.80	48.72	47.49	46.64	47.49	0.72	0.49
Ác. Cis-11-eicosaenoico C20:1	0.84	0.75	0.70	0.82	0.74	0.71	0.05	0.35
ΣAGM	53.5	52.65	53.93	52.08	51.35	52.08	-	-
Ác. Araquidónico	0.42	0.49	0.38	0.53	0.56	0.38	0.07	0.51
Ác. Linoléico	6.29	7.11	7.55	8.07	8.39	8.21	0.72	0.38
Ác. Linolénico	0.66d	0.95cd	1.31bc	1.73b	2.27a	2.57a	0.10	0.0001
Ác. Cis 11,14 eicosadienoico	0.32	0.33	0.36	0.40	0.39	0.39	0.03	0.16
Ác. Cis 11,14,17 eicosatrienoico	0.16c	0.19bc	0.22bc	0.31ab	0.37a	0.41a	0.03	0.0004
ΣAGP	7.85	9.07	9.82	11.04	11.98	11.96	-	-

^{abcd} Medias con distinta literal difieren significativamente ($P \leq 0,05$). T1(0%), T2(2%), T3(4%), T4(6%), T5(8%) y T6(10%)= Tratamientos con diferentes niveles de semilla de linaza molida. AGS= ácidos grasos saturados, AGM= ácidos grasos monoinsaturados, AGP= ácidos grasos poliinsaturados.

Cuadro 9. Perfil de ácidos grasos de carne de lomo de cerdos en finalización alimentados con seis niveles de inclusión de semilla de linaza molida en la dieta (Experimento 2)

Ácidos grasos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	EEM	P
Ác. Laúrico	0.10	0.09	0.10	0.11	0.09	0.11	0.008	0.46
Ác. Mirístico	1.57	1.45	1.53	1.58	1.44	1.58	0.06	0.38
Ác. Palmítico	26.85	25.30	26.21	25.43	24.88	25.12	0.56	0.24
Ác. Esteárico	11.99a	12.13a	11.81ab	11.62b	13.75a	12.02a	0.49	0.04
Ac. Araquídico	0.23a	0.23a	0.19b	0.27a	0.28a	0.22a	0.02	0.05
ΣAGS	40.74	39.2	39.84	39.01	40.44	39.05	-	-
Ác. Palmitoléico	3.49	3.38	3.81	3.16	2.85	3.19	0.20	0.06
Ác. Cis-10-heptadecanoico	0.27	0.26	0.26	0.24	0.27	0.28	0.11	0.59
Ác. Eládico	0.18ab	0.20ab	0.14b	0.19ab	0.23a	0.22ab	0.02	0.05
Ác. oléico	47.02	48.11	46.30	45.43	46.04	45.49	0.80	0.16
Ác. Cis-11-eicosaenoico	0.81	0.77	0.69	0.77	0.78	0.75	0.04	0.52
ΣAGM	51.77	52.72	51.2	49.79	50.17	49.93	-	-
Ác. Araquidónico	0.38	0.38	0.25	0.52	0.32	0.32	0.07	0.26
Ác. Linoléico	5.91	5.92	6.77	7.60	6.23	7.28	0.55	0.31
Ác. Linolénico	0.65e	1.00de	1.36dc	1.61bc	1.82ab	2.19a	0.08	0.0001
Ác. Cis 11,14 eicosadienoico	0.28	0.29	0.31	0.37	0.32	0.35	0.03	0.25
Ác. Cis 11,14,17 eicosatrienoico	0.12c	0.18bc	0.23b	0.24b	0.32a	0.36a	0.01	0.0001
ΣAGP	7.34	7.77	8.92	10.34	9.01	10.50	-	-

^{abcd}Medias con distinta literal difieren significativamente ($P \leq 0.05$). T1(0%), T2(2%), T3(4%), T4(6%), T5(8%) y T6(10%)= Tratamientos con diferentes niveles de semilla de linaza molida. AGS= ácidos grasos saturados, AGM= ácidos grasos monoinsaturados, AGP= ácidos grasos poliinsaturados.

**CAPÍTULO III. ACEITE DE ATÚN COMO FUENTE DE ÁCIDOS
GRASOS OMEGA-3 EN DIETAS PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN
(EXPERIMENTO 2)**

ACEITE DE ATÚN COMO FUENTE DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 EN DIETAS PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN

Eutiquio Soní-Guillermo, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes niveles de aceite de atún en el comportamiento productivo, características de la canal, perfil de ácidos grasos y características físico-químicas de la carne de 50 cerdos machos castrados híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso promedio inicial de 50.00 ± 3.5 kg durante ocho semanas. El estudio se realizó en dos etapas experimentales: de 50-75 y 75-100 kg de peso, distribuidos en un diseño completamente al azar. Los niveles de aceite de atún en ambas etapas fueron: 0, 1, 2, 3 y 4%; las dietas fueron isoprotéicas e isoenergéticas. Los resultados indican que en la primera y segunda etapa no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en las variables productivas, calidad de la canal y características físico-químicas de la carne, sin embargo, sí se afectó ($P \leq 0.05$) en la segunda etapa la ganancia de carne magra disminuyendo con 3% de aceite atún. El perfil de ácidos grasos saturados y mono-insaturados en pierna no cambiaron ($P > 0.05$); sin embargo, los ácidos linolénico (Ω -3) y linoleico (Ω -6) se incrementaron ($P \leq 0.05$) por el nivel de aceite de atún en la dieta con 3 y 4%, respectivamente. Lo anterior indica que la composición lipídica en los ácidos Ω -3 y Ω -6 se mejoran con los niveles más altos de aceite de atún, sin afectar las variables productivas, características de la canal y físico-químicas de la carne.

Palabras clave: aceite de atún, cerdos, comportamiento productivo, características de la canal, perfil de ácidos grasos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different levels of tuna oil on the growth performance, carcass characteristics, fatty acid profile and physicochemical characteristics of meat of 50 hybrid (Landrace×Yorkshire×Pietrain) barrows with initial average weight of 50.00 ± 3.5 kg for eight weeks. The study was conducted in two experimental stages: 50-75 and 75-100 kg, distributed in a completely randomized design. Levels of tuna oil in both stages were: 0, 1, 2, 3 and 4%; diets were isoproteic and isocaloric. The results indicate that in both stages there were no significant differences ($P>0.05$) on growth performance variables, carcass quality and physicochemical characteristics of meat; however, during the second phase, 3% of tuna oil decreased ($P\leq 0.05$) fat free lean gain of lean meat. The profile of saturated and mono-unsaturated fatty acids in *Biceps femoris* muscle did not change ($P>0.05$); however, linolenic (ω -3) and linoleic (ω -6) acids increased ($P\leq 0.05$) by the tuna oil level in the diet at concentration of 3 and 4%, respectively. This indicates that the lipid composition of ω -3 and ω -6 fatty acids are improved with higher levels of tuna oil, without affecting the growth performance variables, carcass and physicochemical characteristics of pork meat.

Keywords: tuna oil, pigs, productive performance, carcass characteristics, fatty acid profile.

3.1. INTRODUCCIÓN

La cantidad y composición de los ácidos grasos en la dieta mejora la cantidad y calidad de los ácidos grasos poli-insaturados de cadena larga (AGPCL) y el valor sensorial de la carne (Kloareg *et al.*, 2007; Flachowsky *et al.*, 2008). Sin embargo, los cambios en los patrones de alimentación de humanos han provocado un mayor consumo de aceites vegetales ricos en ácido linoléico (Ω -6), por lo que la relación con ácidos grasos Ω -3 (Ω -6: Ω -3) es del orden de 15:1 en muchos países, cuando la relación ideal es 5:1 o máximo 10:1 (FAO, 1994). Entre los AGPCL se encuentran los ácidos grasos omega-3 (Ω -3) y omega-6 (Ω -6), ácidos grasos esenciales para el ser humano, y por ello deben ingerirse a través de la alimentación. Los AGPCL Ω -3 eicosapentanoico (EPA, C20:5 Ω -3, cis-5, 8, 11, 14, 17) y docosahexanoico (DHA, C22:6 Ω -3, cis-4, 7, 10, 13, 16, 19) se encuentran en alta proporción en los tejidos de algunos peces de agua fría (García *et al.*, 2011). Por tal razón, los aceites de pescado han sido utilizados en dietas para cerdos para modificar el perfil de ácidos grasos de la carne (Flachowsky *et al.*, 2008; Jaturashita *et al.*, 2009). Publicaciones recientes mencionan que los niveles de aceite de pescado utilizados en dietas para cerdos están en un rango de 1-3% (Jathurashita *et al.*, 2008; Jathurashita *et al.*, 2009; Khiosa *et al.*, 2011; Wojtasik *et al.*, 2012; Lisiak *et al.*, 2013); otros autores mencionan que los niveles fluctúan entre 5 y 6% (Haak *et al.*, 2008; Skiba *et al.*, 2015). Los resultados de dichas investigaciones son inconsistentes en cuanto al perfil lipídico de la carne y la respuesta sobre las variables productivas. Además, no se menciona la especie de pescado de donde proviene el aceite utilizado y en ocasiones este aceite es comparado con aceites de linaza y/o canola, lo que ocasiona que el contenido de ácidos grasos pueda variar entre ellas. También los niveles de aceite de pescado como fuente de Ω -3 adicionados en la dieta de cerdos se han utilizado en diferentes etapas de producción: 25-60; 35-60; 60-105; 70-100 kg de peso vivo (Jathurashita *et al.*, 2009). Por otro lado, también el manejo alimenticio de los cerdos ha cambiado, ya que el National Research Council (NRC, 2012) recomienda formular dietas en diferentes etapas de producción: 50-75 y 75-100 kg de peso vivo. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la concentración más adecuada de aceite de atún en la dieta para cerdos en

finalización, sin afectar negativamente la respuesta productiva, características de la canal, variables físico-químicas de la carne y mejorar el perfil de ácidos grasos en carne de pierna y lomo.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Localización

El experimento se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, localizada a 98° 48' 27" O y a 19° 48' 23" N y una altitud de 2,241 msnm, con clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano con precipitación media anual de 644.8 mm y temperatura media anual de 15.2 °C (García, 1988).

3.2.2. Animales y dietas experimentales

Se evaluaron cinco niveles de aceite de atún en dietas para cerdos en dos etapas de finalización (50-75 y 75-100 kg de peso vivo). Los tratamientos (T) fueron: T1, testigo, sin aceite de atún; T2: 1%; T3: 2%; T4: 3%; y T5: 4% de aceite de atún. El tratamiento testigo se formuló con aceite de soya como fuente concentrada de energía hasta cubrir los requerimientos de energía. Se utilizaron 50 cerdos híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) machos castrados con peso promedio inicial de 50.00 ± 3.50 kg durante ocho semanas, alojados individualmente y distribuidos en un diseño completamente al azar. Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* (Microsoft Excel, 2007), de acuerdo con los requerimientos sugeridos por el NRC (2012) para las dos etapas (Cuadros 1 y 2).

3.2.3. Variables de respuesta

Las variables de respuesta estudiadas en ambas etapas experimentales fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF) y características de la canal (grasa dorsal, GD inicial [GDI] y final

[GDF]; porcentaje de carne magra, PCM inicial [PCMI] y final [PCMF]; área del músculo *Longissimus dorsi*, AML inicial [AMLI] y final [AMLF]). Las variables GDP y CAL se determinaron cada siete días y con esa información se calculó la CA. La GD y AML se midieron utilizando un ultrasonido de tiempo real (SonoVet 600, Medison, Inc., Cypress, California, USA) al inicio y al final de cada etapa a nivel de la décima costilla. Con estos datos y con los PVI y PVF se calcularon la GCM y el PCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council (NPPC, 1991).

3.2.4. Características físico-químicas

En la segunda etapa experimental se procedió al sacrificio de cuatro animales por tratamiento cuando los cerdos alcanzaron 100 kg de peso vivo, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (SAGARPA, 1995). Las características físico-químicas de pH, color, textura y capacidad de retención de agua (CRA) fueron evaluadas en muestras del músculo de la pierna (*Biceps femoris*).

El color se midió a las 24 h *post-mortem* utilizando un colorímetro portátil (Hunter Lab, Chroma meter CR-410, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan), que se calibró con el color blanco en tres diferentes puntos sobre el área superficial de la pierna del cerdo para medir las variables luminosidad (L^*), rojo-verde (a^*) y amarillo-azul (b^*). El pH se midió directamente en el músculo *Biceps femoris* a las 24 h *post-mortem*. El músculo se perforó con una navaja y se introdujo el electrodo del potenciómetro (Modelo pH 1100) registrando el dato de la lectura estabilizada. La CRA se determinó según método establecido por Guerrero *et al.* (2002), a las 24 h *post-mortem* 2 g de carne finamente picada se pesaron en un tubo, se homogenizó con 5 ml de una solución 0.6 M de cloruro de sodio y se agitó en un vortex durante un min. Las muestras se dejaron reposar durante 30 min en un refrigerador a 4 °C y posteriormente se centrifugaron (centrífuga Beckman J-MI) durante 15 min a 10,000 rpm. El sobrenadante fue decantado y medido en una probeta. El volumen retenido de agua destilada se reporta como la cantidad de agua retenida en 100 g de carne (Guerrero *et al.*, 2002).

La determinación de textura expresada como la fuerza máxima de corte, se realizó utilizando la navaja Warner-Bratzler y se realizó a las 24 h *post-mortem* en carne cruda; las muestras se cortaron en (cubos) de 1 cm³ de carne de la pierna y se analizaron utilizando un analizador de textura TA-XT2 (Textura Technologies Corp., Scarsdale, NY). Los cubos de carne se colocaron con las fibras del músculo transversalmente al filo de la navaja (Guerrero *et al.*, 2002).

3.2.5. Perfil de ácidos grasos

Para la determinación del perfil de ácidos grasos se utilizó un cromatógrafo de gases HP® (Modelo 6890), un estándar de ésteres metílicos Supelco 37 (Component FAME Mix Catálogo N0.47885-U), con una columna Supelco (SPTM- 2660 FUSED SILICA Capillary Column, 100 m×0.25 mm×0.2 μm *film thickness*). Como gas portador se utilizó helio a un flujo de 0.8 mL/min; la inyección de muestras fue 1 μL en modo Split 1:10 manualmente; con una rampa de temperatura inicial de 140 °C por 1 °C min⁻¹, con un incremento a 3 °C min⁻¹ a una temperatura de 210 °C, y un decremento de 0.7 °C min⁻¹ y una temperatura final de 235 °C. El tiempo total para analizar cada muestra fue de 60 min.

3.2.6. Análisis estadístico

Para las dos etapas experimentales se utilizó un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron con ANOVA (SAS, 2010) y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey (P≤0.05). El peso inicial se utilizó como covariable.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Parámetros productivos

Los resultados indican que el nivel de aceite de atún en la dieta no afectó (P>0.05) las variables productivas, tanto en la primera como en la segunda etapa experimental

(Cuadros 3 y 5), lo que probablemente se debe a que las dietas satisfacían los requerimientos nutricionales para estas etapas, sin afectar el consumo de alimento por efecto de los diferentes tratamientos. Jaturasitha *et al.* (2009) observaron que la adición de 0, 1 y 3% de aceite de atún en dietas para cerdos de 35-60, 60-75, 35-90 y 75-90 kg de peso vivo, no afectaron el CAL, GDP y CA. Wojtasik *et al.* (2012) por su parte no encontraron efecto con 0 y 2.5% de aceite de pescado en cerdos de 60 a 105 kg de peso vivo. Mientras, Haak *et al.* (2008) mencionan que con la adición de dos concentraciones de aceite de pescado (0 y 6%) en dietas para cerdos en finalización de 70 kg de peso vivo, no hubo diferencias significativas en las variables productivas estudiadas; resultados similares a los encontrados en este estudio, aun cuando se probaron niveles de aceite superiores (4 vs 6%) y en diferentes etapas de producción. Por ello, se puede inferir que los niveles de aceite de atún de 3 y 6% no afectan los parámetros productivos. Estos resultados son consistentes con lo señalado por Van Oekel y Boucque (1992) quienes mencionan que puede agregarse hasta 5% de aceite de atún sin disminuir el consumo de alimento de cerdos en engorda. Al no encontrarse diferencias significativas ($P>0.05$) en las variables productivas en la primera etapa, de igual manera se reflejó en la variable GCM. Sin embargo, en la segunda etapa con 3% de atún ($P\leq 0.05$) se obtuvo la menor GCM, esto se explica, porque a pesar de no haber diferencias significativas en las variables productivas, con el tratamiento de 3% de aceite de atún hay una menor GDP y mayor CA.

En las características de la canal no se encontró efecto ($P>0.05$) del nivel de aceite de atún utilizado en las dos etapas experimentales (Cuadros 4 y 6), y se explica porque no se encontraron diferencias significativas en las variables productivas en ambas etapas productivas, lo que coincide con los reportado por Wojtasik *et al.* (2012), quienes evaluaron 0 y 2.5 % de aceite de atún y observaron que no se modificó la GD y el AML. Estudios realizados por Lisiak *et al.* (2013) con animales de 25-60 kg encontraron que no hubo diferencias en GD y AML en cerdos alimentados con dietas que contenían 0, 1 y 2% de aceite de pescado. Otras investigaciones señalan que no se modifica la GD y AML en cerdos que recibieron dietas con 0, 1 y 3% de aceite de atún (Jaturasitha *et al.*, 2009). Esto probablemente se debe a que los niveles utilizados

en las investigaciones mencionadas no fueron lo suficientemente altos para modificar las características de la canal; también pueden deberse al origen (especie) del aceite de pescado utilizado. Al no encontrarse diferencias significativas en PVF, GDF y AMLF, el PCMF tampoco se vio afectado.

3.3.2. Características físico-químicas

En cuanto a las características físico-químicas de la carne en pierna, los niveles de aceite de atún en la dieta no tuvieron ($P > 0.05$) efecto sobre las variables de pH, color, CRA y textura (Cuadro 7). Estos resultados se deben probablemente porque al no encontrarse diferencias significativas en pH en pierna por efecto de los diferentes tratamientos, las demás variables tampoco se modificaron, ya que éstas están relacionadas directamente con el pH. Estos resultados difieren de lo reportado por Jaturasitha *et al.* (2008) quienes encontraron una disminución de L^* y aumento de los índices de a^* y b^* conforme se incrementó el nivel de aceite de atún de 0 a 2% en la dieta de cerdos y el peso de los animales (90, 100 y 110 kg). Por otro lado, Jaturasitha *et al.* (2009), mostraron que en animales de 35 a 90 kg alimentados con 0 y 1% vs animales de 35-60 y 75 a 90 kg con 3% de aceite de atún, respectivamente, el color se afecta de igual manera conforme se incrementa el nivel de aceite. La luminosidad disminuye con 1% y aumenta con 3%; pero no muestra cambios para los índices a^* y b^* en las diferentes etapas de estudio. Por su parte Lisiak *et al.* (2013) reportaron no haber encontrado efecto en color por el nivel de aceite de pescado en dietas para cerdos, con 0, 1 y 2%. La importancia de estos resultados radica en que el color de la carne es una de las principales características sensoriales que influye en la decisión de compra de carne fresca (Sánchez *et al.*, 2008). Los niveles de aceite de atún fueron mayores en el presente estudio (2, 3 y 4%) comparado con las investigaciones mencionadas anteriormente, por lo tanto, es posible adicionar a la dieta hasta 4% de aceite de pescado sin afectar negativamente el color de la carne.

Los niveles de aceite de atún estudiados no afectaron la CRA, resultados similares a los obtenidos por Lisiak *et al.* (2013), quienes mostraron que diferentes niveles de aceite de pescado (0, 1 y 2%) no tuvieron efecto sobre la pérdida por goteo. Los valores

de pH obtenidos en este estudio están dentro del intervalo de 5.4 a 5.8, considerado como un pH normal para la carne, y no hubo diferencias significativas entre tratamientos, por lo que se puede decir que la carne satisfacía las características de frescura, ya que el pH es un indicador de la misma y su variación depende de la relación tiempo-temperatura *post-mortem*, durante la cual se activan enzimas endógenas, prolifera la flora deteriorante y, en consecuencia, se generan compuestos químicos que aumentan el pH. Un pH en la carne *post-rigor* dentro del intervalo antes mencionado indica que no se ha iniciado la producción de compuestos de putrefacción como aminas biogénicas, aldehídos, cetonas y ácidos grasos de cadena corta (Guerrero, 2009). En la investigación realizada por Lisiak *et al.* (2013), no encontraron diferencias en pH a las 24 h *post-mortem*, es decir, no se encontraron desviaciones en la calidad de la carne entre pálida suave y oxidativa (PSE) o dura firme y oscura (DFD), resultados similares a los del presente estudio y también a los reportados por Fischer (2001) y por Homsy y Francisco (2003).

En la textura, expresada como fuerza máxima de corte, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, lo que difiere con lo reportado por Jaturasitha *et al.* (2008), quienes observaron que al incrementar el nivel de aceite de atún (2%) en dietas para cerdos de 90, 100 y 110 kg de peso vivo, la textura disminuye. En otro estudio realizado por los mismos autores, tampoco detectaron diferencias en textura en cerdos de 35-90, 35-60 y 75-90 kg de peso alimentados con 0, 1 y 3% de aceite de atún. La dureza es una manifestación macroscópica de la resistencia de un tejido al corte cuando se aplica una fuerza externa, ya que esta se debe a la estructura de las fibras musculares formadas en una alta proporción por proteínas (Pérez *et al.*, 2009). Al no encontrarse diferencias significativas en esta variable en el presente estudio, probablemente se debió a que los AGPCL se incorporan al tejido graso, no al proteínico, por lo que adicionar aceite de atún a la dieta no afectó la dureza de la carne al no incorporar notablemente lípidos a las fibras musculares (Aguilar *et al.*, 2014).

3.3.3. Perfil de ácidos grasos en la carne

No hubo diferencias significativas entre tratamientos para los ácidos grasos saturados ($P > 0.05$); sin embargo, en el total de estos ácidos, se observa una tendencia ya que al incrementar los niveles de aceite de atún se disminuye la concentración de éstos ácidos de cadena corta; por otro lado, hubo un incremento ($P \leq 0.05$) del total de ácidos grasos de cadena larga (Cuadro 8), observándose una mayor concentración de ácidos Ω -6 y Ω -3 con 2% en cerdos de 75-100 kg de peso vivo, por lo que se supone que la conversión hepática de estos ácidos a partir del ácido linolénico es eficiente en los mamíferos, ya que el aumento está relacionado a su incorporación en la dieta (Meers *et al.*, 2006). Resultados similares a los de Jaturasitha *et al.* (2008) quienes en animales de 90, 100 y 110 kg sin y con aceite de atún (0 y 2%), observaron que la composición de ácidos grasos de la carne se modifica en EPA y DHA, así como los ácidos Ω -3. En estudios realizados por Pochon *et al.* (2012), concluyeron que la inclusión de aceite de pescado (0 y 5%) a dietas para cerdos no produce modificaciones en el perfil de ácidos grasos de la carne de cerdos. Otros trabajos (Meers *et al.*, 2006; Khiosa *et al.*, 2011) mencionan que se aumentan los niveles de Ω -3 de cadena larga como el DHA y EPA, cuyo precursor es el ácido linolénico.

Por su parte, Jaturasitha *et al.* (2009), mencionan que los ácidos Ω -6 en cerdos de 35 a 90 kg alimentados con 0, 1 y 3% de aceite de atún, disminuyeron con 1% en animales de 35-60; y se incrementaron con 3% (de 15.5 a 16.5%) en cerdos de 75-90 kg de PV; sin embargo, los ácidos Ω -3 se incrementaron en las dos etapas de engorda: de 1.5 a 2.11% en la primera etapa y de 1.73 a 2.10% en la segunda, lo que se debe probablemente a que se evaluaron en diferentes etapas de producción con animales de menor peso y menor edad. Haak *et al.* (2008) encontraron que al adicionar semilla de linaza (3%) en sustitución del aceite de pescado (3 y 6%) en dietas para cerdos en finalización desde 70 kg de peso vivo, en la dieta sin aceite de pescado y semilla de linaza vs aceite de pescado, no encontró efecto en ácidos grasos Ω -6 pero sí se incrementaron los Ω -3 al adicionar aceite de pescado. Por su parte Wojtasik *et al.* (2012), al evaluar niveles de aceite pescado de 0, 1 y 2.5%, encontraron mayor porcentaje de ácidos grasos de cadena larga Ω -6 y Ω -3 con 2.5% de aceite de

pescado. Lisiak *et al.* (2013) sustituyeron aceite de canola, de linaza y manteca de cerdo con 0, 1 y 2% de aceite de pescado y reportaron que la composición de ácidos grasos de cadena larga se modificó ya que fue de mayor cantidad de Ω -6 en dietas que contenían 1 y 2%, mientras que los ácidos grasos Ω -3 se concentraron en la dieta que contenía mayor cantidad de aceite de pescado. La modificación o variación de los ácidos grasos Ω -3 y la concentración de Ω -6 en las investigaciones antes mencionadas puede atribuirse al hecho de que se utilizaron diferentes fuentes de ácidos grasos y en diferentes etapas de producción, edad y peso.

3.4. CONCLUSIONES

Los niveles de aceite de atún adicionados en dietas para cerdos en finalización no afectaron las variables productivas en las dos etapas experimentales, sin embargo, con la adición del 3% de aceite de atún en la segunda etapa disminuyó la GCM.

Las características físico-químicas de la carne no se modificaron por efecto de los diferentes tratamientos, respecto al testigo.

El perfil de ácidos grasos Ω -3 y Ω -6 se incrementaron con los niveles de 4 y 3% de aceite de atún, respectivamente.

3.5. LITERATURA CITADA

- Aguilar, G.J., R.D. Mota, B.H. Escalona, O.M.E. Trujillo and L.I. Guerrero. 2014. Effect of diets with polyunsaturated fatty acids on pork sensory characteristics. *Agrociencia*. 48: 777-788.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/Organización Mundial de la Salud (OMS). 1994. Fat and oils in human nutrition. Report of a Joint Expert Consultation. No. 57.
- Fischer, K. 2001. Fleischfehler muessen nicht sein. Bedingungen zur Produktion von Fleisch gutter sensorischer and technologischer qualitat. *Fleischwirtschaft*. 10: 21-24.
- Flachowsky, G., E. Schulz, R. Kratz and P. Glodek. 2008. Effect of different dietary fat sources on the fatty acid profile of backfat and intramuscular fat of pigs of various sire breeds. *J. Anim. Feed Sci.* 17: 363-371
- García, B.R., X.G. Guzmán, A.S. Hernández, R.E. Armenta and I.L. Guerrero. 2011. Nutraceuticals from marine sources. *In: Jaramillo-Flores, M.E., E.C. Lugo-Cervantes, and L. Chel-Guerrero (eds). Nutraceuticals and Functional Foods: Conventional and Non-conventional Sources. Studium Press, Llc. New Delhi, India. pp: 79-102*
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4ª Ed. México D. F. 217 p.
- Guerrero, L.I. 2009. Meat spoilage detection. *In: Nollet, L. and F. Toldrá (eds). Handbook of processed meat and poultry analysis. CRC Press, Florida, U.S.A. 445-460.*
- Guerrero, L.I., A.E Ponce y M.L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. D.F., México.
- Haak, L., S. De Smet, D. Fremaut, K. Van Wallegghem and K. Raes. 2008. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *J. Anim. Sci.* 86:1418-1425.

- Homsí, B.L.A. and P.L. Francisco. 2003. Water holding capacity (WHC) and subjective color assessment of different preclassified swine carcass cuts according to the *longissimus dorsi* pH. Proc. 49th International Congress of Meat Science and Technology. 59: 573-582.
- Jaturasitha, S., R. Khiaosa, P. Pongpiachan and M. Kreuzer. 2009. Early deposition of n-3 fatty acids from tuna oil in lean and adipose tissue of fattening pigs is mainly permanent. J. Anim. Sci. 87: 693-703.
- Jaturasitha, S., T. Srikanchai, S. Chakeredza, U. Ter Meulen and M. Wicke. 2008. Backfat characteristics of barrows and gilts fed on tuna oil supplemented diets during the growing- finishing periods. J. Anim. Sci. 8: 1214-1219.
- Khiosa, R., P. Chungsirawat, N. Chommanart, M. Kreuzer and S. Jaturasitha. 2011. Enrichment with n-3 fatty acid by tuna oil feeding of pigs: changes in composition and properties of bacon and different sausages as affected by the supplementation period. Can J. Anim. Sci. 91: 87-95.
- Kloareg, M., J. Noblet and J. Milgen. 2007. Deposition of dietary fatty acids, de novo synthesis and anatomical partitioning of fatty acids in finishing pigs. Brit. J. Nutr. 97: 35-44.
- Lisiak, D., E. Grzeskowiak, K. Borzuta, S. Raj, P. Janiszewski and G. Skiba. 2013. Effects of supplementary vegetable and animal fats on the slaughter values of fatteners, meat quality, and fatty acid profile in pigs. Czech J. Anim. Sci. 58: 497-511.
- Meers, S.A., C.R. Dove and M.J. Azain. 2006. The effect of dietary omega-3 fatty acid composition of adipose tissue in grower/finisher pigs. On line: <http://www.ads.uga.edu/documents.pdf>.
- Microsoft Excel. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. 2007.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd Ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. 16 pp.
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient requirements tables and feed ingredient composition. Nutrient Requirements of swine 11th. National Academy Press, Washington, DC. pp: 208-239.

- Pérez, M.I., V. Larrea, A. Quiles and M.A. Llunch. 2009. Microstructure of muscle foods. *In: Nolle, L.M.L., and F. Toldrá (eds). Handbook of Muscle Foods Analysis. CRC. Press Boca Raton, Florida. pp: 335-352.*
- Pochon, D.O., M.A. Judis, H.A. Kolowski, J.A. Picot y J.M Navamuel. 2012. Efectos de la suplementación con aceite de pescado sobre la concentración de ácidos grasos en carne de cerdo. *Rev. Vet. 23(2): 120-125.*
- Sánchez, E.A., U.G.R. Torrescano, A.J.P. Camou, M.N.F. González y W.G. Hernández. 2008. Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *Nacameh. 2 (2): 124-159.*
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. *In: <http://www.senasica.gob.mx/?doc=529>.*
- Skiba, G., E. Polawska, M. Sobol, S. Raj and D. Weremko. 2015. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in de body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. *Arch. Anim. Nutr. 69 (1): 1-16.*
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.
- Van Oeckel, M.J. and C.V. Boucque. 1992. Omega-3-fatty acids in pig nutrition: A review. *Landbouwtijdschrift. 45: 1177-1192.*
- Wojtasik, M., S. Raj, G. Skiba, D. Weremko and M. Czaudera. 2012. The effects of diets enriched in omega-3 fatty acids on carcass characteristics and the fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat in pigs. *J. Anim. Feed Sci. 21: 635-647.*

**Cuadro 1. Dietas experimentales para cerdos en finalización
(50-75 kg de peso vivo; Experimento 1)**

Ingrediente (%)	Tratamientos				
	Testigo (T1)	1 % (T2)	2% (T3)	3% (T4)	4% (T5)
Sorgo	82.24	81.88	78.87	74.77	71.59
Salvado	0.00	0.00	2.39	5.74	7.00
P. Soya	14.18	14.25	14.04	13.71	13.93
Aceite de soya	0.93	0.21	0.00	0.00	0.00
Aceite de atún	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
Carbonato de calcio	0.61	0.61	0.60	0.58	1.24
Ortofosfato	0.63	0.63	0.69	0.77	0.81
Premezcla Vit. ^B y min. ^C	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys ^A	0.64	0.64	0.64	0.65	0.64
DL-Metionina	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
Tripto-plus	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
L-Treonina	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Aporte Nutricional (%)					
EM (Mcal/kg)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
PC	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Arginina	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76
fenilalanina	0.65	0.65	0.65	0.64	0.64
Histidina	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32
Isoleucina	0.54	0.54	0.53	0.52	0.52
Leucina	1.36	1.35	1.33	1.30	1.29
Lisina	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Metionina	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Met+Cis	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Treonina	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptófano	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Valina	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66
Ca	0.64	0.64	0.64	0.64	0.90
P	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

^A Aportó 50% de lisina. ^BProporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^CAportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

**Cuadro 2. Dietas experimentales para cerdos en finalización
(75 a 100 kg peso vivo; Experimento 2)**

Ingredientes (%)	Tratamientos				
	Testigo (T1)	1 % (T2)	2% (T3)	3% (T4)	4% (T5)
Sorgo	79.73	79.40	77.70	75.27	72.84
Pasta de Soya	16.59	16.63	16.87	17.20	17.54
Aceite de soya	0.97	0.25	0.00	0.00	0.00
Aceite de atún	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
Carbonato de calcio	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63
Ortofosfato	0.58	0.58	0.60	0.63	0.65
Arena	0.00	0.00	0.70	1.78	2.87
Premezcla Vit. ^B y min. ^C	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys ^A	0.70	0.70	0.69	0.68	0.67
DL-Metionina	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
L-Treonina	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Aporte Nutricional (%)					
EM (MCal/kg)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
PC	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10
Arginina	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Fenilalanina	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
Histidina	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33
Isoleucina	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Leucina	1.41	1.41	1.39	1.38	1.36
Lisina	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Metionina	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Metionina+Cistina	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Treonina	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Triptófano	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Valina	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
Ca	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
P	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

^AAportó 50% de lisina. ^BProporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^CAportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de cerdos en finalización (50-75 kg) alimentados con diferentes niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 1)

Tratamiento	Aceite de atún (%)	CAL (kg d ⁻¹)	GDP (kg d ⁻¹)	CA	PVF (kg)	GCM (kg d ⁻¹)
1	0	2.50	0.862	2.92	74.79	0.28
2	1	2.49	0.826	3.04	73.92	0.27
3	2	2.46	0.887	2.80	75.33	0.28
4	3	2.47	0.850	2.93	74.51	0.27
5	4	2.48	0.823	3.04	73.83	0.27
EEM ^{xy}		0.09	0.03	0.12	0.75	0.01
P		0.99	0.59	0.63	0.61	0.97

^{abc}Medias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$). ^{xy}En todas las variables se agregó el error estándar de la media (EEM). CAL= Consumo de alimento, GDP= Ganancia de peso, CA= Conversión alimenticia, PVI= Peso inicial, PVF= Peso final, GCM= Ganancia de carne magra.

Cuadro 4. Características de la canal de cerdos en finalización (50-75 kg) de peso vivo alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 1)

Tratamiento	Aceite de atún (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI	PCMF
1	0	8.09	11.18	2158.9	2912.3	40.59	39.41
2	1	8.34	12.01	2083.6	2905.4	39.95	39.07
3	2	8.07	11.05	2014.7	2715.4	39.71	38.48
4	3	8.37	11.59	2063.9	2835.1	39.81	38.82
5	4	9.02	11.45	2261.4	2939.9	40.54	39.46
EEM ^{xy}		0.18	0.31	46.95	54.35	0.24	0.23
P		0.16	0.65	0.18	0.36	0.32	0.29

^{abc}Medias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$). ^{xy}En todas las variables se agregó el error estándar de la media (EEM). GDI= Grasa dorsal inicial, GDF=Grasa dorsal final, AMLI= Área de músculo *Longissimus* inicial, AMLF= Área de músculo *Longissimus* final, PCMI= Porcentaje de carne magra inicial, PCMF= Porcentaje de carne magra final, EEM= Error estándar de la media.

Cuadro 5. Comportamiento productivo de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con cinco niveles de aceite de atún (Experimento 2)

Tratamientos	(%)	Aceite de atún				
		GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PVF (kg)	GCM (kg d ⁻¹)
1	0	0.984	2.84	2.92	103.97	0.28 a
2	1	0.938	2.99	3.23	102.61	0.26 a
3	2	1.068	2.85	2.74	106.48	0.32 a
4	3	0.851	2.74	3.65	99.98	0.24 b
5	4	0.944	2.75	2.93	102.76	0.26 a
EEM [‡]		0.03	0.09	0.12	0.75	0.01
P		0.12	0.55	0.12	0.12	0.05

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$). [‡]En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PVI = Peso inicial, PVF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 6. Características de la canal de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 2)

Tratamientos	Aceite de atún (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI	PCMF
2	1	12.09	15.29	2920.3	3454.4	39.02	37.06
3	2	10.92	14.62	2692.6	3553.4	38.56	37.24
4	3	11.58	14.91	2833.9	3379.3	38.83	37.14
5	4	11.54	16.05	2956.9	3586.9	39.41	37.19
EEM [‡]		0.29	0.48	74.14	85.83	0.38	0.36
P		0.51	0.61	0.21	0.46	0.35	0.79

^{abc}Medias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$). [‡]En todas las variables se agregó el error estándar de la media (EEM). GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del Músculo *Longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *Longissimus* final, PCMI = Porcentaje de carne magra inicial, PCMF = Porcentaje de carne magra final.

Cuadro 7. Características físico-químicas de la carne de cerdos en finalización (75-100 kg) alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta (Experimento 2)

Tratamientos	Aceite de atún (%)	pH	L*	a*	b*	CRA	Textura (gr)
1	0	5.73	44.84	18.00	5.84	0.85	1376.4
2	1	5.62	47.09	18.45	7.61	0.73	1091.2
3	2	5.71	43.87	17.84	5.69	0.90	1151.8
4	3	5.73	44.19	19.17	7.78	1.15	1108.7
5	4	5.74	48.78	17.43	8.70	0.80	1184.8
EEM [‡]		0.18	2.19	0.50	0.99	0.29	223.51
P		0.51	0.76	0.32	0.29	0.26	0.84

^{abc}Medias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$). [‡]En todas las variables se agregó el error estándar de la media (EEM). En todas las variables fisicoquímicas se agregó el error estándar de la media (EEM). L*= Luminosidad; a*= Índice rojo; b*= Índice amarillo; CRA= Capacidad de retención de agua.

Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos de carne de pierna de cerdos en finalización alimentados con cinco niveles de aceite de atún en la dieta

Ácidos grasos (%)	Niveles de aceite de atún						
	T1	T2	T3	T4	T5	EEM [∧]	P
Cáprico C10:0	0.16	0.15	0.22	0.13	0.16	0.05	0.84
Laúrico C12:0	0.13	0.14	0.12	0.12	0.13	0.02	0.98
Mirístico C14:0	1.55	1.63	1.57	1.55	1.57	0.18	0.96
Palmítico C16:0	26.02	25.91	25.02	24.47	25.32	1.22	0.98
Heptadecanoico C17:0	0.32	0.39	0.39	0.38	0.28	0.03	0.14
Esteárico C18:0	12.31	12.10	11.72	11.39	11.59	0.93	0.94
Lignocérico C24:0	0.44	0.23	0.31	0.39	0.0057	0.12	0.24
Araquídico C20:0	0.14	0.19	0.16	0.16	0.30	0.06	0.80
Total de ácidos grasos saturados	41.07	40.74	39.52	38.59	39.35	0.04	0.10
Palmitoléico C16:1	3.62	3.83	3.65	3.75	3.74	0.41	0.99
Cis-10-heptadecanoico C17:1)	0.29	0.39	0.39	0.32	0.25	0.05	0.22
oleico C18:1 Ω9 cis	45.22	45.16	45.01	46.02	45.79	1.19	0.97
Cis-11-eicosaenoico C20:1	0.76	0.75	0.74	0.74	0.83	0.07	0.93
Total de ácidos monoinsaturados	50.08	50.33	50.07	50.96	50.74	0.02	0.93
Araquidónico C20:4n-6	0.82	0.71	0.80	0.98	0.91	0.21	0.90
Linoléico C18:2 Ω6	6.99b	7.10a	8.38b	8.30ab	7.80ab	0.81	0.05
Linolénico C18:3 Ω3 cis	0.53b	0.57a	0.63ab	0.63ab	0.67c	0.06	0.05
Cis 11,14 eicosadienoico C20:2	0.28	0.35	0.35	0.34	0.36	0.06	0.88
Cis 11,14,17 eicosatrinoico C20:3 Ω3	0.09	0.07	0.08	0.09	0.08	0.01	0.95
Total de ácidos poliinsaturados	8.71b	8.8b	10.24a	10.34a	9.82a	0.03	0.05

^{abc}Medias con distinta letra difieren significativamente (P≤0.05). [∧]En todas las variables se agregó el error estándar de la media (EEM). T1 (0), T2(1%), T3(2%), T4(3%) y T5(4%)= niveles de aceite de atún. AGS= ácidos grasos saturados, AGM= ácidos grasos monoinsaturados, AGP= ácidos grasos poliinsaturados

**CAPÍTULO IV. ACEITE DE CANOLA COMO FUENTE DE ÁCIDOS
GRASOS OMEGA PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN
(EXPERIMENTO 3)**

ACEITE DE CANOLA COMO FUENTE DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN

Eutiquio Soní Guillermo, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

El objetivo del presente experimento fue evaluar el efecto de diferentes niveles de aceite de canola como fuente de ácidos grasos omega en el comportamiento productivo, características de la canal, perfil de ácidos grasos y características físico-químicas de la carne. Se utilizaron 50 cerdos híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) machos castrados con peso promedio inicial de 50.00 ± 4.5 kg durante ocho semanas. El estudio se realizó en dos etapas experimentales con cerdos de 50-75 y 75-100 kg de peso vivo distribuidos en un diseño completamente al azar; los niveles de aceite de canola para ambas etapas fueron: 0, 2, 4 y 6%. Los resultados indican que en la primera etapa el nivel de 4% de aceite de canola mejoró ($P \leq 0.05$) GDP, PVF y GCM, mientras, que en la segunda etapa no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en las variables productivas, sin embargo, se disminuyó ($P \leq 0.05$) la variable GDF con el nivel de 6%. Las características físico-químicas no se afectaron por los diferentes niveles de aceite de canola. En cuanto a la composición lipídica de pierna y lomo, para ácidos grasos de cadena larga Ω -6 (linoléico) fue mejor con 2%; respecto a los Ω -3 no se encontró efecto por los diferentes tratamientos, mientras que los ácidos grasos saturados disminuyeron (mirístico y palmítico) con 2% y los mono-insaturados se incrementaron (oléico) con 6%.

Palabras clave: aceite de canola, comportamiento productivo, características de la canal, grasa dorsal, perfil de ácidos grasos.

ABSTRACT

The objective of this experiment was to evaluate the effect of different levels of canola oil as a source of omega fatty acids on growth performance, carcass characteristics, fatty acid profile and physico-chemical characteristics of pork. Fifty hybrid (Landrace×Yorkshire×Pietrain) barrows were used with initial average weight of 50.00 ± 4.5 kg for eight weeks. The study was conducted in two experimental stages with pigs of 50-75 and 75-100 kg body weight allotted in a completely randomized design; oil levels of canola oil for both stages were: 0, 2, 4 and 6%. The results indicate that in the first stage the level of 4% canola oil improved ($P \leq 0.05$) GDP, PVF and GCM, while in the second stage there were no significant differences ($P > 0.05$) for growth performance variables; however, decreased ($P \leq 0.05$) GDF with 6% canola oil. The physico-chemical characteristics were not affected by the level of canola oil. As for lipid composition in *Biceps femoris* and *Longissimus dorsi*, long chain fatty acids Ω -6 (linoleic) increased with 2%; regarding Ω -3, there was no effect of treatment, while saturated fatty acids decreased (myristic and palmitic) with 2% and mono-unsaturated (oleic) increased with 6%.

Keywords: canola oil, productive performance, carcass characteristics, backfat, fatty acid profile.

4.1. INTRODUCCIÓN

La valoración energética de las grasas es uno de los factores clave a considerar en su digestibilidad, esto depende fundamentalmente de su capacidad de solubilización y de la formación de micelas en el intestino. En monogástricos, los factores que determinan el valor energético es el contenido de energía bruta, porcentaje de triglicéridos vs ácidos grasos libres, grado de insaturación y longitud de la cadena (De Blas *et al.*, 2010). Los aceites vegetales comestibles, en su gran mayoría, constituyen un buen aporte de ácidos grasos Ω -6 (principalmente ácido linoléico). Sin embargo, algunos aceites, como el de soya, canola, o linaza, aportan cantidades considerables (10%) de ácidos grasos Ω -3 (ácido α -linolénico).

La producción de canola ha retomado gran importancia no solo como fuente de proteína vegetal sino también debido a su perfil de ácido grasos (Leskanich *et al.*, 1997). La canola permite incorporar al organismo los ácidos grasos esenciales que el cuerpo no sintetiza como el ácido linoléico (ácido graso omega 6; Ω -6) y el ácido α -linolénico (ácido graso omega 3; Ω -3); dichos ácidos grasos se consideran esenciales en virtud de que el cuerpo humano es incapaz de sintetizarlos y son indispensables en el crecimiento, reproducción, visión y además, ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares e inmunes (Masood *et al.*, 2005). El aceite de canola es el único aceite que más se asemeja al balance aconsejado por las guías internacionales para la relación de ácidos grasos Ω -6: Ω -3, que es igual o menor a dos; además, contiene una baja cantidad de grasa saturada, grasas *trans* y colesterol, lo cual aumenta la demanda de dicho producto en el mercado (Ursin, 2003). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar diferentes niveles de aceite de canola en dietas para cerdos en finalización sobre el comportamiento productivo, características de la canal y fisicoquímicas de la carne así como el perfil de ácidos grasos.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1. Localización

El estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, localizada a 98° 48' 27" O y a 19° 48' 23" N y a una altitud de 2,241 msnm, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988).

4.2.2. Animales y dietas experimentales

Se evaluaron cuatro niveles de aceite de canola en dietas para cerdos en dos etapas de producción (50-75 y 75-100 kg de peso vivo). Los tratamientos (T) fueron: T1: testigo; T2: 2%; T3: 4%; y T4: 6% de aceite de canola, en sustitución del aceite de soya, donde el T4 contenía solamente aceite de canola con el nivel máximo. Se utilizaron 48 cerdos machos híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso promedio inicial de 50.00 ± 4.5 kg durante ocho semanas, distribuidos en un diseño completamente al azar, con 12 repeticiones por tratamiento. Las dietas fueron isoprotéicas e isoenergéticas formuladas con el comando *Solver* (Microsoft Excel, 2007), de acuerdo con los requerimientos sugeridos por el National Research Council (NRC, 2012) para las dos etapas (Cuadros 1 y 2).

4.2.3. Variables de respuesta

Las variables de respuesta estudiadas en ambas etapas experimentales fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF) y características de la canal (grasa dorsal, GD inicial [GDI] y final [GDF]; porcentaje de carne magra, PCM inicial [PCMI] y final [PCMF]; área del músculo *longissimus dorsi*, AML inicial [AMLI] y final [AMLF]). Las variables GDP y CAL se midieron cada siete días y con esta información se calculó la CA. La GD y AML se midieron utilizando un ultrasonido de tiempo real (SonoVet 600, Medison, Inc.,

Cypress, California, USA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los PVI y PVF se calculó la GCM y el PCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council (1991).

4.2.4. Características físico-químicas

En la segunda etapa experimental se procedió al sacrificio de cinco animales por tratamiento cuando los cerdos alcanzaron 100 kg de peso vivo y se realizó en el rastro de la granja, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (SAGARPA, 1995); se obtuvieron muestras de carne de pierna (*Biceps femoris*) y lomo (*Longissimus dorsi*) de cada uno de los animales y se procedió a medir las siguientes variables: pH, color, capacidad de retención de agua y textura.

La determinación del color se midió a las 24 h *post-mortem*, utilizando un colorímetro portátil (Hunter Lab, Chroma meter CR-410, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan). Se calibró con el color blanco en tres diferentes puntos sobre el área superficial de la pierna y lomo del cerdo para medir las variables luminosidad (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*).

El pH se midió directamente en el músculo de la pierna (*Biceps femoris*) y lomo (*Longissimus dorsi*) a las 24 h *post-mortem*. Los músculos se perforaron con una navaja y se introdujo el electrodo del potenciómetro (Modelo pH 1100) registrando el dato de la lectura estabilizada. El potenciómetro se calibró a temperatura ambiente, con los amortiguadores de pH 4.0 y 7.0.

Para determinar la capacidad de retención de agua (CRA), esta se realizó 24 h *post-mortem*, se pesaron 2 g de carne de pierna y lomo finamente picada en un tubo de centrifuga, se homogeneizaron las muestras con 5 ml de una solución 0.6 M de cloruro de sodio y se agitaron en un vortex durante un min. Las muestras se dejaron reposar durante 30 min en un refrigerador a 4 °C y posteriormente se centrifugaron durante 15 min a 10,000 rpm (centrifuga Beckman J-MI). El sobrenadante fue decantado y medido

en una probeta. El volumen retenido de agua destilada se reporta como la cantidad de agua retenida en 100 g de carne (Guerrero *et al.*, 2002).

La determinación de textura se realizó 24 h *post-mortem*; en muestras de carne de pierna y lomo, se utilizó un analizador de textura TA-XT2 (Textura Technologies Corp., Scarsdale, NY) acoplado con una navaja de Warner-Bratzler. Se cortaron cubos de carne cruda de 1 cm³, se colocaron con las fibras del músculo transversalmente al filo de la navaja, usando el registro de la fuerza máxima para cortar y la fuerza conocida (Guerrero *et al.*, 2002).

4.2.5. Perfil de ácidos grasos

Para la determinación del perfil de ácidos grasos se utilizó el cromatógrafo HP® (Modelo 6890) estándar de ésteres metílicos Supelco 37 (Component FAME Mix Catalogo No. 47885-U), con una columna Supelco (SP™- 2660 FUSED SILICA Capillary Column, 100 m × 0.25 mm × 0.2 µm film thickness). Como gas portador se utilizó helio a 0.8 mL/min; la inyección manual de muestras fue 1 µL en modo Split 1:10; con una rampa de temperatura inicial de 140 °C por 1.00 grado min⁻¹, con un incremento a 3 °C min⁻¹ a una temperatura de 210 °C, y un decremento de 0.7 grados min⁻¹ y una temperatura final de 235 °C. El tiempo total para analizar cada muestra fue de 60 min.

4.2.6. Análisis estadístico

Para las dos etapas experimentales se utilizó un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron con ANOVA de SAS (SAS, 2010) y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey (P≤0.05). El peso inicial se utilizó como covariable.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Parámetros productivos

Los resultados indican que las variables productivas GDP, PVF y GCM, fueron afectadas negativamente ($P \leq 0.05$) con 2% de aceite de canola en la dieta en la primera etapa experimental (Cuadro 3), y se debe porque con ese nivel se tuvo un menor consumo de alimento. Myer *et al.* (2014) mencionan que al agregar niveles de aceite de canola de 0, 5 y 10%, encontraron efecto lineal en las variables consumo de alimento, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia en cerdos de 27-102 kg de peso vivo. Resultados similares a los de la presente investigación en donde al incrementar el nivel de aceite de canola la GDP se mejoró con 4%. Por otra parte, en un trabajo realizado por De Sousa *et al.* (2013), se menciona que los niveles de 2, 2.5, 3.0 y 3.5% de aceite de canola en animales de 73.65 kg no afectaron las variables productivas CAL, GDP y CA. Estos resultados concuerdan con los de la presente investigación ya que en la segunda etapa experimental no se encontró efecto para animales de 75 kg de peso vivo (Cuadro 5), a pesar de que las dietas contenían niveles de aceite de canola mayores (hasta 6%; Cuadro 2). De igual manera Bertol *et al.* (2013), no encontraron efecto en cerdos de 70 a 120 kg de peso vivo al utilizar 1.5 y 3% de aceite de canola. Por lo que adicionando hasta 6% no afectan las variables productivas en animales en su última etapa de producción (75-100 kg de peso vivo). Para GCM se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la primera etapa, obteniendo una mejor respuesta con la dieta que no contenía aceite canola, seguido de los tratamientos con 3 y 4%, lo que probablemente se debe a que con estos tratamientos se obtuvo una mejor respuesta en GDP y PVF; sin embargo, en la segunda etapa experimental, para la GCM no se encontró efecto ($P > 0.05$) por los diferentes tratamientos y se explica por el reflejo de los resultados en las variables productivas CAL, GDP y PVF, que tampoco fueron afectadas por los diferentes tratamientos de aceite de canola (Cuadro 6).

En las características de la canal no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los niveles de aceite de canola en la primera etapa experimental (Cuadro 4), a

pesar de que en las variables productivas hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$), sin embargo, se presentó diferencia ($P \leq 0.05$) en GDF en la segunda etapa obteniendo una disminución con 4% de aceite de canola (Cuadro 6), y se explica porque con ese tratamiento se tuvo una GDI menor que en los cerdos de los otros tratamientos. Estos resultados difieren de los de Myer *et al.* (2014) quienes evaluaron, 0, 5 y 10% de aceite de canola y encontraron que no se modificó la grasa dorsal y área del músculo *Longissimus*. Por otro lado, Seneviratne *et al.* (2010) al agregar diferentes niveles de harina de canola en dos experimentos con niveles de 0, 7.5, 15% y 0, 7.5, 15 y 22.5%, respectivamente, no encontraron diferencias en grasa dorsal y área del músculo *Longissimus dorsi*. Otros estudios señalan que no se modifica la grasa dorsal y área del músculo *Longissimus* cuando se sustituye pasta de soya por pasta de canola al 50% en cerdos de 69 kg de peso vivo (Rojo *et al.*, 2001). A pesar de que los niveles de aceite de canola fueron mayores en las investigaciones mencionadas anteriormente, éstos no modificaron las características de la canal, al igual que la pasta de canola y harina de canola.

4.3.2. Características físico-químicas

Respecto a las características físico-químicas de la carne en pierna y lomo no se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre los niveles de aceite de canola en pH, color, CRA y textura (Cuadros 7 y 8), a pesar de que el aceite de canola se sustituyó por aceite de soya. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Bertol *et al.* (2013), quienes encontraron que con niveles de aceite de canola de 1.5 y 3%, en músculo *Longissimus dorsi* y el músculo semimembranoso, estas variables no cambiaron en cerdos de 70-120 kg de peso vivo. Por otro lado, Alonso *et al.* (2012) al evaluar tres fuentes de aceite (grasa animal, aceite de soya y aceite de palma) no reportaron diferencias significativas en pH y color, aunque sí encontraron efecto en CRA cuando la dieta contenía aceite de soya; lo que difiere de los resultados de la presente investigación donde no se encontraron diferencias significativas en esta variable y se explica probablemente porque dichos autores utilizaron diferentes fuentes de aceites mientras que en el presente estudio sólo se utilizó aceite de canola en sustitución del

aceite de soya. El pH en el presente estudio no se afectó en lomo por la adición de aceite de canola a la dieta; sin embargo, en pierna hubo una reducción ($P \leq 0.04$) donde el valor más bajo fue con 2% (5.53) y el más alto con el testigo (5.78); en lomo el más bajo fue con 4% (5.21) y el más alto con 2% (5.32), lo que indica que éstos valores están dentro de lo reportado en la literatura ya que Guerrero (2009) menciona que intervalos de pH 5.4 a 5.8 en la carne *post-rigor* indican que no ha iniciado la producción de compuestos de putrefacción, como aminas biogénicas, aldehídos, cetonas y ácidos grasos de cadena corta, ya que el pH depende de la relación tiempo:temperatura *post-mortem*, y en consecuencia, se generan compuestos químicos que hacen que aumente el pH. La textura de igual manera no se afectó por efecto de los diferentes tratamientos en pierna y lomo en el presente estudio y se explica debido a que los ácidos grasos poli-insaturados de cadena larga se incorporaron al tejido graso y no al proteínico, ya que la dureza de la carne se debe a las estructuras de las fibras musculares formadas en un alto porcentaje por proteínas, por lo que los ácidos grasos poliinsaturados no afectaron la dureza de la carne al no incorporarse notablemente lípidos a las fibras musculares (Pérez *et al.*, 2009). Respecto a la variable CRA en pierna y lomo, tampoco se afectó por los diferentes tratamientos; esto podría explicarse porque al adicionar ácidos grasos poli-insaturados de cadena larga a dietas para cerdos existe un aumento en la relación de ácidos grasos saturados:insaturados en la grasa del cerdo, ya que entre mayor sea el grado de insaturación, menor es la cantidad de cargas eléctricas que puedan interactuar con el agua (Lo Fiego *et al.*, 2005). El color no se modificó en los índices de L^* , a^* y b^* en pierna y lomo, por efecto del aceite de canola, a pesar de que el color en las canales de cerdos se mide sobre la superficie de los cortes, a diferencia de otras especies en donde la medición se hace directamente en la canal y las piezas se venden principalmente enteras (Hernández, 1997).

En el presente estudio se observa que el contenido de los ácidos oléico y linoléico en pierna se incrementaron ($P \leq 0.05$), teniendo una mejor respuesta con 6%, mientras, que el ácido linolénico no se modificó ($P > 0.05$) por efecto de los diferentes tratamientos (Cuadro 9). Estos resultados son diferentes a lo reportado por Seneviratne *et al.* (2010)

quienes no encontraron efecto en el contenido de estos ácidos grasos al adicionar 0, 7.5, 15 y 22.2% de harina de canola a dietas para cerdos de 96 a 118 kg de peso vivo y se debe porque la harina de canola no contenía la suficiente cantidad de ácidos grasos comparada con el aceite de canola que se utilizó en el presente estudio. Por otro lado Alonso *et al.* (2012) de igual manera no observaron efecto al adicionar dietas con diferentes fuentes de ácidos grasos (grasa animal, aceite de soya y aceite de palma) en músculo *Longissimus torácico*. Bertol *et al.* (2013) mencionan que al agregar 1.5 y 3% de aceite de canola se incrementa el contenido de los ácidos grasos oléico y linoléico, con mejor repuesta con 3%; resultados semejantes a los del presente estudio. Por su parte Myer *et al.* (2014), encontraron un efecto lineal en grasa de la canal en oléico y linoléico en cerdos de 57 a 102 kg de peso vivo cuando los niveles de aceite de canola se incrementaron (0, 5 y 10 %). Estos resultados se explican debido a que el aceite de canola es rico en estos dos ácidos grasos, por lo que al incrementar la concentración de aceite de canola en dietas para cerdos se incrementan en la carne.

4.3.3. Perfil de ácidos grasos

Respecto al perfil de ácidos grasos en lomo (Cuadro 10) se detectaron diferencias significativas en el ácido palmítico ($P \leq 0.02$), probablemente se debe porque en el total de los ácidos grasos saturados hay una disminución en esos tratamientos a pesar de no haber diferencias significativas; por el contrario, el ácido oléico ($P \leq 0.001$) y linoléico ($P \leq 0.08$) se incrementaron con 2% de aceite de canola, respecto al ácido linoléico no se encontró efecto por los diferentes niveles de aceite de canola. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Myer *et al.* (2014) quienes encontraron que al adicionar niveles de 0, 5, 10 y 15% de aceite de canola, el ácido graso palmítico se vio disminuido y por el contrario los ácidos grasos oléico y linoléico se incrementaron. Aunque el aceite de canola es bastante rico en ácidos grasos mono-insaturados, sólo se observó aumento relativamente pequeño en estos ácidos grasos; esta falta de aumento se debió probablemente a un nivel relativamente alto de ácidos grasos mono-insaturados que se producen de forma natural en la grasa de cerdo (Berschauer, 1986). Por su parte Bertol *et al.* (2013) mencionan que al probar diferentes fuentes de

aceites (canola, soya y canola más aceite de linaza) con niveles de 1.5 y 3.0%, no observaron diferencias significativas en ácidos grasos saturados; sin embargo, los ácidos oléico y linoléico incrementaron más con el aceite de canola.

4.4. CONCLUSIONES

El nivel de aceite de canola que disminuyó las variables productivas GDP, PVF y GCM fue 2%.

El perfil de ácidos grasos de cadena larga (linoléico; Ω -6) se incrementó en pierna y lomo, encontrándose una mejor respuesta con 4 y 2%, respectivamente.

En ácidos grasos mono-insaturados, el ácido oléico se mejoró con 6% de aceite de canola.

4.5. LITERATURA CITADA

- Alonso, V., L.M. Najes, L. Provincial, E. Guillén, M. Gil, P. Roncalés and J.A. Beltrán. 2012. Influence of dietary fat on pork eating quality. *Meat Sci.* 92: 366-373.
- Berschauer, F. 1986. Fats in diets for growing pigs. *Pig News Info.* 7: 153.
- Bertol, T.M., R.M.L. De Campos, J.V. Ludke, N.N. Terra, E.A.P. De Figueiredo, A. Coldebella, J.I. Dos Santos F., V.I. Kowski and N.M. Lehr. 2013. Effects of genotype and dietary oil supplementation on performance, carcass traits, pork quality and fatty acid composition of backfat and intramuscular fat. *Meat Sci.* 93: 507-516.
- De Sousa, R.V., D. Ribeiro de O., M.G. Zangeronimo, V. De Sousa C., M.S. Da Silva F. and L.J. Pereira. 2013. Total cholesterol and its fractions in the blood of finishing pigs fed diets with different levels of canola oil. *Acta Scientiae Veterinariae.* 41: 1028.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/Organización Mundial de la Salud (OMS). 1994. Fat and oils in human nutrition. Report of a Joint Expert Consultation. No. 57.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4a edición. México D. F. 217 p.
- Guerrero, L.I. 2009. Meat spoilage detection. In Nollet, L., and F. Toldrá (eds.). *Handbook of processed meat and poultry analysis*. CRC pres. Boca Raton, Florida. pp: 445-460
- Guerrero, L.I., A.E. Ponce and M.L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Metropolitana Unidad Iztapalapa. D.F., México.
- Hernández, P. 1997. Calidad de la carne de conejo. *Lagomorpha*, 90: 13-18.
- Leskanich, C.O., K. Matthews, C. Warkup, R. Noble and M. Hazzledine. 1997. The effect of dietary oil containing (n-3) fatty acids on the fatty acid, physicochemical, and organoleptic characteristics of pig meat and fat. *J. Anim. Sci.* 75: 673-683.
- Lo Fiego, D.P., P. Macchioni, P. Santero, G. Pastorelli and C. Corino. 2005. Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on CLA isomers content and fatty acid composition of dry-cured Parma ham. *Meat Sci.* 70: 285-291.

- Masood, A., K. Stark and N. Salem. 2005. A simplified and efficient method for the analysis of fatty acid methyl esters suitable for large clinical studies. *J. Lipid Res.* 46: 2299-2305.
- Microsoft Excel. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. 2007.
- Myer, R.O., J. Lamkey, W. Walker, J. Brendemuhl and G. Combs. 2014. Performance and carcass characteristics of swine when fed diets containing canola oil and added copper to alter the unsaturates:saturated ratio of pork fat. *J. Anim. Sci.* 70:1417-1423.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. NPPC, Des Moines, IA, USA
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient requirements tables and feed ingredient composition. Nutrient Requirements of Swine 11th. National Academy Press, Washington, DC. 208-239.
- Pérez, M.I., V. Larrea, A. Quiles and M.A. Lluch. 2009. Microstructure of muscle foods. In. Nollet, L.M.L., and F. Toldrá (eds.). Handbook of muscle foods analysis. CRC. Press, Boca Raton, Florida, pp: 335-352.
- Rojo, G.A., V.G. Pérez, A. Beyardo, H.J. Correa y J.A. Cuarón. 2001. Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Técnica Pecuaria México.* 39(3): 179-192.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres sagarpa. En: <http://www.senasica.gob.mx/?doc=529>
- Seneviratne, R.W., M.G. Young, E. Beltranena, L.A. Goonewardene, R.W. Newkirk and R.T. Zijlstra. 2010. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88: 2073-2083.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.
- Ursin, V.M. 2003. Modification of plant lipids for human health: development of functional land-based omega-3 fatty acids. *J. Nut.* 133: 4271-4274.

**Cuadro 1. Dietas experimentales para cerdos en finalización
(50-75 kg de peso vivo; Experimento 1)**

Ingrediente (%)	Tratamientos			
	Testigo (T1)	2 % (T2)	4% (T3)	6% (T4)
Sorgo	62.19	62.49	62.80	63.10
Pasta de soya	14.53	14.48	14.44	14.40
Salvado de trigo	10.00	10.00	10.00	10.00
Aceite de soya	6.00	4.00	2.00	0.00
Aceite de canola	0.00	2.00	4.00	6.00
Carbonato de calcio	0.54	0.54	0.54	0.55
Ortofosfato	0.94	0.94	0.93	0.93
Arena	4.40	4.14	3.88	3.62
Premezcla de vitaminas y minerales ^{B,C}	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys ^A	0.62	0.62	0.62	0.62
Metionina	0.04	0.04	0.04	0.04
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30
L-Treonina	0.09	0.09	0.09	0.09
Triptófano	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
	Aporte Nutricional (%)			
EM (MCAL/kg)	3.30	3.30	3.30	3.30
PC	14.87	14.88	14.89	14.90
Arginina	0.77	0.77	0.77	0.77
Fenilalanina	0.63	0.63	0.63	0.63
Histidina	0.32	0.32	0.32	0.32
Isoleucina	0.51	0.52	0.52	0.52
Leucina	1.23	1.23	1.23	1.23
Lisina	0.85	0.85	0.85	0.85
Metionina	0.24	0.24	0.24	0.24
Metionina+Cistina	0.41	0.41	0.41	0.41
Treonina	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptófano	0.15	0.15	0.15	0.15
Valina	0.66	0.66	0.66	0.66
Ca	0.64	0.64	0.64	0.64
P	0.45	0.45	0.45	0.45

^A Aporta 50% de lisina. ^B Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^C Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. T=Tratamiento.

**Cuadro 2. Dietas experimentales para cerdos en finalización
(75 a 100 kg peso vivo; Experimento 2)**

Ingredientes (%)	Tratamientos			
	Testigo (T1)	2 % (T2)	4% (T3)	6% (T4)
Sorgo	66.19	66.52	66.84	67.17
Pasta de soya	10.08	10.01	9.94	9.87
Salvado de trigo	10.00	10.00	10.00	10.00
Aceite de soya	6.00	4.00	2.00	0.00
Aceite de canola	0.00	2.00	4.00	6.00
Carbonato de calcio	1.01	1.01	1.01	1.01
Ortofosfato	0.21	0.21	0.21	0.20
Arena	4.65	4.39	4.13	3.87
Premezclas de vitaminas y minerales ^{B,C}	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys ^A	0.70	0.70	0.70	0.70
Metionina	0.09	0.09	0.09	0.09
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30
L-Treonina	0.20	0.20	0.20	0.20
Triptófano	0.22	0.22	0.22	0.22
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Aporte Nutricional (%)				
EM (MCAL/kg)	3.3	3.3	3.3	3.3
PC	13.50	13.5	13.5	13.5
Arginina	0.64	0.64	0.64	0.64
Fenilalanina	0.55	0.55	0.55	0.55
Histidina	0.27	0.27	0.27	0.27
Isoleucina	0.44	0.44	0.44	0.44
Leucina	1.12	1.13	1.13	1.13
Lisina	0.93	0.93	0.93	0.93
Metionina	0.27	0.27	0.27	0.27
Meionina+cistina	0.42	0.42	0.42	0.42
Treonina	0.57	0.57	0.57	0.57
Triptófano	0.16	0.16	0.16	0.16
Valina	0.56	0.56	0.56	0.56
Ca	0.64	0.64	0.64	0.64
P	0.30	0.30	0.30	0.30

^A aporta 50% de lisina. ^B Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^C Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. T=Tratamiento.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de cerdos en finalización (50-75) kg alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

Tratamiento	Aceite de canola (%)	CAL (kg/d)	GDP (kgd ⁻¹)	CA	PVF (Kg)	GCM (kgD ⁻¹)
1	0	2.69	0.717a	3.73	73.61a	0.274a
2	2	2.47	0.597b	4.35	70.24b	0.231b
3	4	2.55	0.692a	3.69	72.91a	0.265a
4	6	2.64	0.656ab	4.08	71.89b	0.251a
EEM		0.09	0.02	0.23	0.65	0.01
P		0.39	0.005	0.19	0.005	0.05

^{abc}Medias con distinta letra difieren significativamente (p<0,05). CAL= Consumo de alimento, GDP= Ganancia de peso, CA= Conversión alimenticia, PVI= Peso inicial, PVF= Peso final, GCM= Ganancia de carne magra.

Cuadro 4. Características de la canal de cerdos en finalización 50-75 kg de peso vivo alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

Tratamientos	Aceite de canola (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI	PCMF
1	0	8.06	10.87	20.69	28.41	40.11	39.29
2	2	7.57	10.41	20.10	27.04	40.05	39.36
3	4	7.42	10.48	20.01	27.77	40.04	39.22
4	6	7.52	10.80	20.82	28.32	40.44	39.49
EEM		0.23	0.38	0.54	0.59	0.32	0.26
P		0.23	0.79	0.65	0.36	0.79	0.90

^{abc}Medias con distinta letra difieren significativamente (p<0,05). GDI= Grasa dorsal inicial, GDF=Grasa dorsal final, AMLI= Área de músculo *Longissimus* inicial, AMLF= Área de músculo *Longissimus* final, CMI= Carne magra inicial, CMF= Carne magra final, EEM= Error estándar de la media.

Cuadro 5. Comportamiento productivo de cerdos en finalización 75-100 kg de peso vivo alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

Tratamientos	Aceite de canola (%)	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PVF (kg)	GCM (kg)
1	0	0.847	3.09	3.66	96.31	0.2657
2	2	0.838	2.81	3.39	96.04	0.2672
3	4	0.861	2.94	3.45	96.68	0.2953
4	6	0.810	3.06	3.89	95.26	0.2702
EEM		0.03	0.08	0.18	0.85	0.01
P		0.69	0.11	0.24	0.69	0.42

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente (P<0,05). † En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PVI = Peso inicial, PVF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 6. Características de la canal de cerdos en finalización 75-100 kg, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

Tratamientos	Aceite de canola (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI	PCMF
1	0	10.78	15.35a	28.21	33.12	39.39	37.09
2	2	10.75	14.61ab	27.85	32.55	39.21	37.14
3	4	10.48	13.49ab	27.75	33.45	39.25	37.68
4	6	10.82	13.57b	28.40	33.01	39.42	37.65
EEM		0.40	0.60	0.59	1.01	0.26	0.27
P		0.94	0.05	0.86	0.95	0.93	0.27

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente (P<0.05). † En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del Músculo *Longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *Longissimus* final, CMI = Carne magra inicial, CMF = Carne magra final.

Cuadro 7. Características físico-químicas de la carne en pierna de cerdos en finalización 75-100 kg, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

Tratamientos	T1 (0%)	T2 (2%)	T3 (4%)	T4 (6%)	EEM	P
pH	5.78a	5.43b	5.64 ^a	5.39b	0.09	0.04
Color L*	49.46	52.28	51.08	50.82	1.83	0.79
a*	18.16	18.26	18.30	18.66	0.65	0.89
b*	8.20	8.94	8.54	8.48	0.85	0.97
CRA (ml/g)	0.89	0.99	0.86	0.87	0.13	0.96
Textura (g)	1625.3	1318.0	1294.6	1443.8	304.55	0.93

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente ($P < 0.05$). En todas las variables físicoquímicas se agregó el error estándar de la media (EEM). ; L* = Luminosidad; a* = Índice rojo; b* = Índice amarillo; CRA = Capacidad de retención de agua.

Cuadro 8. Características físico-químicas de la carne en lomo de cerdos finalización 75-100 kg, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

Tratamientos	T1 (0%)	T2 (2%)	T3 (4%)	T4 (6%)	EEM	P	
PH	5.27	5.32	5.26	5.21	0.07	0.68	
Color	L*	55.20	58.40	57.72	57.46	2.02	0.73
	a*	18.84	18.94	18.06	18.60	0.65	0.19
	b*	8.72	9.70	10.24	11.54	1.19	0.43
CRA	0.89	0.87	0.88	0.86	0.15	0.95	
Textura	1791.9	1406.7	1446.8	1445.3	242.5	0.64	

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente ($P < 0.05$). En todas las variables físicoquímicas se agregó el error estándar de la media (EEM). ; L* = Luminosidad; a* = Índice rojo; b* = Índice amarillo; CRA = Capacidad de retención de agua.

Cuadro 9. Perfil de ácidos grasos de carne pierna de cerdo en finalización, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta.

Ácidos grasos	T1 (0%)	T2 (2%)	T3 (4%)	T4 (6%)	EEM	P
Ác. Mirístico	1.99	1.28	1.41	1.79	0.19	0.11
Ác. Palmítico	24.80	22.37	23.25	23.22	0.65	0.10
Ác. Estearico	11.94	10.17	11.24	10.79	0.58	0.19
ΣAGS	38.73	33.82	35.9	35.8	-	-
Ác. Palmitoleico	3.07	3.09	2.67	3.17	0.26	0.56
Ác. oléico	39.90b	42.07ab	42.86ab	45.09a	1.13	0.05
Ác. Cis-11- eicosaenoico	0.53	0.72	0.68	0.74	0.09	0.44
ΣAGM	43.5	45.88	46.21	49.0	-	-
Ác. Araquidónico	1.08	1.35	1.28	1.03	0.10	0.17
Ác. Linoléico	14.75ab	16.36a	14.41ab	11.63b	1.07	0.05
Ác. Linolénico	1.38	1.83	1.59	1.73	0.15	0.27
Ác. Cis 11,14 eicosadienoico	0.55	0.74	0.60	0.55	0.10	0.59
ΣAPI	17.76	20.28	17.88	14.94	-	-

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$). T1, T2, T3 y T4 = niveles de aceite de canola.

Cuadro 10. Perfil de ácidos grasos de carne lomo de cerdo en finalización, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

Ácidos grasos	T1 (0%)	T2 (2%)	T3 (4%)	T4 (6%)	EEM	P
Ác. Mirístico	2.04	1.35	1.51	1.93	0.19	0.12
Ác. Palmítico	26.17a	23.17b	24.56ab	24.39ab	0.54	0.02
Ác. Esteárico	12.53	10.67	11.83	11.48	0.60	0.21
∑ AGS	40.74	35.19	37.9	37.8	-	-
Ác. Palmitoleico	3.28	3.31	3.49	3.40	0.20	0.82
Ác. oléico	40.49b	45.06a	45.23a	46.45a	0.86	0.001
Ác. Cis-11- eicosaenoico	0.60	0.69	0.63	0.60	0.06	0.67
∑ AGM	44.37	49.06	49.35	50.45	-	-
Ác. Araquidónico	0.84	0.93	0.76	0.93	0.13	0.75
Ác. Linoléico	12.26	12.84	10.39	8.94	1.02	0.08
Ác. Linolénico	1.33	1.42	1.15	1.21	0.15	0.56
Ác. Cis 11,14 eicosadienoico	0.45	0.53	0.43	0.27	0.11	0.50
∑ API	14.88	15.72	12.73	11.35	-	-

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente ($P \leq 0.05$). T1, T2, T3 y T4=niveles de aceite de canola.