



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Uso de una fuente de DHA proveniente de algas marinas en la alimentación de cerdos en crecimiento y finalización: evaluación de la calidad de carne y grasa.

Tesis

Que para obtener el grado de

Médica Veterinaria Zootecnista

Presenta

Samara Sánchez Piñeyro

Asesor

Dr. José Antonio Cuarón Ibarcúengoytia

Co-asesor:

M en B Luis Humberto López Hernández

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES - CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES
de la FES Cuautitlán.

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Uso de una fuente de DHA proveniente de algas marinas en la alimentación de cerdos en crecimiento y finalización: evaluación de la calidad de carne y grasa.

Que presenta la pasante: **SAMARA SÁNCHEZ PIÑEYRO**

Con número de cuenta: **30913375-9** para obtener el Título de la carrera: **Medicina Veterinaria y Zootecnia**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de mayo de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en P. Jorge Luis Rico Pérez	
VOCAL	Dr. José Antonio Cuarón Ibarquengoytia	
SECRETARIO	M.V.Z. Jesús Arturo Sandoval Romero	
1er. SUPLENTE	M. en C. Salvador Carlos Flores Peinado	
2do. SUPLENTE	Dra. Yasmín Guadalupe De Loera Ortega	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Agradecimientos

- Al Dr. José Antonio Cuarón Ibargüengoytia por aceptarme en su equipo de trabajo, por su paciencia y conocimiento compartido. Agradezco la motivación que deposita en nosotros para ser mejores día con día, en lo personal y en lo académico.
-
- Al M en B Luis Humberto López Hernández y su equipo de trabajo por la paciencia, regaños, enseñanzas y su apoyo incondicional en la realización de este proyecto.
- A la M en C María Alejandra Pérez Alvarado, por su amabilidad, paciencia y todo su apoyo en mi formación académica
- A mí jurado por su disponibilidad, amabilidad y conocimiento para la revisión de esta tesis.
- A mis compañeros de generación especialmente a Cynthia Cárdenas, Ruth Mayén y Marysol Carmona por todas las experiencias durante nuestra formación académica.
- A mis amigos y compañeros del CENID-INIFAP: Felipe López, Gustavo Marín, René Calderón, Jesús Maguey y Diego Guerrero, les deseo siempre lo mejor en el ámbito personal y laboral.
- A Daniela Rodríguez, Diego Cardoso y Josué Bravo, compartimos siempre los mejores y peores momentos, agradezco la confianza y amistad que me han brindado todo este tiempo, que los años y la vida nos permitan seguir construyendo nuestra amistad.
- A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme realizar mi preparación profesional desde mi educación media superior.
- Al personal del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-Fisiología, INIFAP) por su apoyo en el uso de sus instalaciones para la conducción del trabajo experimental.
- A Alltech®, por el financiamiento del proyecto de investigación del cual derivó mi tesis de licenciatura.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con todo mi amor a mis padres, Hilda Piñeyro y Sinuhé Sánchez por siempre creer en mí, agradezco sus consejos y apoyo incondicional en mi vida personal y profesional. Además de todas sus enseñanzas y ejemplo para lograr ser mejor en la vida y como persona.

A mi tía Laura Sánchez por creer y apoyarme en mis proyectos, aun estando lejos, te quiero.

A mí hermano Sinuhé por acompañarme en esta etapa de crecimiento, tu amor y apoyo los tengo siempre presentes.

A mi abuela Reyna que nunca dejó de creer en mí, gracias por tus regaños, consejos, lecciones y apoyo incondicional en mi vida. Agradezco a la vida por dejarme conocerte. Te llevo en mi corazón siempre.

CONTENIDO

Índice general

Agradecimientos.....	i
Dedicatoria	ii
Índice general.....	iii
Índice de cuadros	v
Índice de figuras	vi
Resumen	1
Introducción.....	2
Marco Teórico.....	4
Ácidos grasos.....	4
Nomenclatura.....	4
Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y la expresión génica.....	6
Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y el sistema inmune.....	6
Digestión y absorción de lípidos.....	7
Metabolismo de los ácidos grasos esenciales	7
Biosíntesis de ácidos grasos.....	10
Factores que afectan la deposición de las grasas en los cerdos	10
Uso de grasas en la alimentación de cerdos.....	11
Deposición de la grasa en los cerdos.....	12
Las grasas en la calidad de carne.....	12
Métodos de verificación de los ácidos grasos presentes en la grasa de los cerdos ..	13
Índice de yodo.....	13
Punto de fusión	13
Oxidación lipídica.....	13
Parámetros de calidad de carne	13
Color	14

Capacidad de retención de agua (capacidad de hidratación)	14
Pérdida de agua por goteo.....	14
Textura.....	14
Hipótesis.....	16
Objetivo	16
Material y Métodos	16
Instalaciones	16
Animales, Manejo y Alimentación.....	16
Criterios de respuesta	22
Estudios de la canal	22
Determinaciones en carne y grasa.....	22
Color	22
Capacidad de retención de agua	22
Pérdida de agua por goteo.....	23
Pérdida de agua por cocción	23
Fuerza de corte	23
Oxidación lipídica.....	23
Actividad antioxidante por el método de FRAP	24
Punto de fusión	24
Índice de yodo.....	24
Oxidación lipídica.....	24
Análisis estadístico.....	25
Resultados y Discusión	26
Comportamiento productivo	26
Calidad de la carne	29
Características de las grasas	32
Conclusión.....	35
Bibliografía.....	36

Índice de cuadros

Cuadro		Página
1	Composición de las fuentes de grasa usadas en el experimento	17
2	Resultado de la aleatorización de los cerdos a los tratamientos	18
3	Ingredientes y composición de las dietas para cerdas reproductoras	19
4	Ingredientes y composición de las dietas para lechones al destete	20
5	Dietas para cerdos en crecimiento-finalización.	21
6	Respuesta acumulada del comportamiento productivo de los cerdos alimentados con dos fuentes de grasa durante el crecimiento y finalización	27
7	Comportamiento productivo de lechones hasta 56d post-destete	28
8	Calidad de la carne de cerdos alimentados con dos diferentes fuentes de grasa durante el crecimiento y finalización	31
9	Características de la grasa de cerdos alimentados con dos diferentes fuentes de grasa durante el crecimiento y finalización.	34

Índice de figuras

Figura		Página
1	Nomenclatura del ácido linoleico	4
2	Estructura de un fosfolípido	5
3	Estructura de la membrana celular	6
4	β -oxidación de ácidos grasos	9

Resumen

Los ácidos grasos insaturados de cadena larga como el linoleico (n-6, LA) y docosahexaenoico (n-3, DHA) contribuyen a la salud, razón por la que hay una demanda de productos enriquecidos con estos ácidos grasos. Por lo que se evaluó el crecimiento de cerdos alimentados con ácidos grasos insaturados de cadena larga y su impacto en calidad de carne y grasa. El experimento se condujo a partir de la progenie de 12 cerdas (n=124) las cuales recibieron dietas a partir de dos fuentes de grasa: SEBO con una relación n6:n3 = 13.5:1 y DHA por una mezcla de 94.8% aceite de cártamo más 5.2% de una fuente de DHA (LG-Max®, Alltech México) con una relación n6:n3 = 5:1. Hasta el día 76±1.0 de vida los cerdos se alimentaron con el mismo patrón de grasas que sus madres, momento en el que se aleatorizaron individualmente a 4 tratamientos, producto del arreglo factorial del uso previo de SEBO o DHA desde el último tercio de gestación hasta el día 76 de vida por la continuación o modificación de la fuente de grasa: 1) SEBO-SEBO (SS), 2) SEBO-DHA (SD), 3) DHA-SEBO (DS) y 4) DHA-DHA (DD), con un 2% de grasa adicionada a las dietas según el tratamiento. Los tratamientos se ofrecieron por 98 días. Los resultados muestran que por efecto del uso de grasas con alto grado de insaturación no se modificó el comportamiento productivo ($P > 0.15$). En cuanto a calidad de carne, se observó mayor pérdida de agua por compresión para el tratamiento DHA- DHA ($P < 0.01$), menor actividad antioxidante para los tratamientos SEBO-SEBO y DHA-DHA ($P < 0.01$). En el caso de las características de las grasas, por efecto de los tratamientos se encontraron diferencias en oxidación lipídica por TBARS en la grasa del tocino y unto ($P < 0.01$). La alimentación en finalización con grasas altamente insaturadas produjo cambios en oxidación lipídica, índice de yodo y punto de fusión en todas las grasas, encontrando mayor cambio en la grasa dorsal y del tocino ($P < 0.01$). En resumen, la inclusión de ácidos grasos insaturados de cadena larga por medio de la dieta, no alteró el comportamiento productivo de los cerdos, siendo una alternativa que permite aumentar el contenido de los ácidos grasos insaturados de cadena larga en la carne y grasa. Cabe señalar que el uso de grasas altamente insaturadas afectan la estabilidad oxidativa tanto en carne como en grasa que pueden afectar directamente la calidad de los productos.

Introducción

Actualmente el concepto de nutrición humana va más allá de los aspectos convencionales en salud y se encamina a incrementar el bienestar y disminuir el riesgo de enfermar, por los alimentos. Para disminuir las enfermedades, surgen los alimentos funcionales que son aquellos que contienen un componente o nutriente con una actividad específica relacionada con una o varias funciones del organismo y cuyo efecto fisiológico está por encima de su valor nutricional (Rodríguez *et al.*, 2003). En particular, hay un interés creciente por el papel que juegan los ácidos grasos de los alimentos en la nutrición y salud humana, razón por lo que se han buscado los medios para aumentar el consumo de alimentos funcionales de origen animal (Palmquist, 2009 y Vossen *et al.*, 2016). La fracción grasa de los alimentos, en especial los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (con mayor número de dobles enlaces, llamados PUFA, por sus siglas en inglés) de la familia n-3 (cuyo primer doble enlace se ubica en el carbono 3 como el ácido docosahexaenoico, DHA, C22:6 n-3) tiene efectos en mamíferos a nivel de la regulación génica (Deckelbaum *et al.*, 2006), en el control del sistema inmunológico (Leskanich *et al.*, 1999), fluidez de las membranas celulares, manteniendo un estado óptimo de salud física y mental durante toda la vida adulta (Valenzuela *et al.*, 2001 y Swanson *et al.*, 2012). Aun así es necesario considerar los demás ácidos grasos n-3: eicosapentaenoico (EPA, C20: 5n-3) y el alfa-linolénico (LNA, C18:3,) ya que en conjunto tienen efectos positivos en la salud humana (Enser, 2000).

La ingesta de niveles adecuados de estos ácidos grasos de cadena larga se alcanzan en poblaciones cuyo consumo de alimentos ricos en grasa, como los de origen marino es rutinario, por lo que en otras latitudes se busca el enriquecimiento de los productos de consumo cotidiano (Sardi *et al.*, 2006). Esto abre una oportunidad para fomentar el consumo de productos de origen animal en los que se pueda aumentar la concentración de los ácidos grasos insaturados de cadena larga. La suplementación de estos ácidos grasos en los animales de estómago simple podría arrojar otros beneficios, como modular los mediadores de la inmunidad humoral y celular (Leskanich *et al.*, 1999). Estos ácidos grasos actúan en la regulación de la respuesta inflamatoria y en el mejoramiento del comportamiento reproductivo, además de mejorar las características nutricionales de la carne de cerdo (Wilkinson *et al.*, 2014 y Rossi *et al.*, 2010). Los ácidos grasos insaturados se absorben fácilmente y se incorporan en la grasa de los tejidos muy selectivamente, a no ser que exista una demanda exacerbada de energía. Sin embargo, para asegurar su deposición debe existir un balance entre el consumo de los ácidos grasos n6 y n3), ya que un exceso en cualquiera de ellos afectaría el catabolismo del otro, reduciendo su incorporación hacia los tejidos y actividad biológica viéndose alterados sus efectos biológicos (Rodríguez-Cruz *et al.*, 2005). Esta recomendación se logra por el aporte del precursor (ácido linoleico) en la dieta. Por lo

que, la adición de DHA a la dieta del cerdo pudiera depositarse directamente en los tejidos, sin desequilibrar los sistemas oxidativos en el animal.

En los humanos, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; y la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS, 2010) recomiendan un consumo óptimo de 0.8 - 1.1 g/día de ácido linoleico (n-6) y 0.3 - 0.4 g/día de ácido linolénico (n-3) en una proporción de n6/n3 de 10:1; aunque son aceptables relaciones de 5:1 o 4:1. Por lo que se ha creado una demanda creciente, particularmente en Asia y Europa, de productos enriquecidos con los ácidos grasos de cadena larga particularmente DHA, como fuente de n-3. En la carne de cerdo hay un gran potencial de enriquecimiento natural con estos ácidos grasos (Sardi *et al.*, 2006), pero existen pocas fuentes ricas en ácidos grasos n-3, cotidianamente se ha descansado en la adición de aceite de pescado, pero confieren un gusto desagradable y potencia la oxidación (Meadus *et al.*, 2013); también se han utilizado grano de Lino (*Linum usitatissimum*), 30 - 40% de n-3 en la grasa (Jiménez *et al.*, 2013) y el grano de Chía (*Salvia hispánica*) 25 - 40% de n-3 en la grasa (Peiretti *et al.*, 2009), pero estas fuentes pueden ser escasas, de calidad, rendimiento variable y con costos elevados. Entre otras alternativas se ha encontrado que el uso las algas heterótrofas (Guschina *et al.*, 2006); que son organismos unicelulares que crecen a partir del uso de oxígeno y alguna fuente de carbono como desperdicios de plantas, puede ser controlado para alcanzar un alto rendimiento de DHA (28-40% de n-3 en la grasa). Sin importar la forma de aumentar los niveles de estos ácidos grasos en la carne, se tiene que considerar que se depositan en membranas e intramuscularmente además de ser muy susceptibles a la oxidación lo que propiciará un sabor desagradable y reducción de la vida de anaquel de los productos (Meadus *et al.*, 2013).

Marco Teórico

Ácidos grasos

Los ácidos grasos son moléculas anfipáticas que contienen una cadena larga hidrocarbonada y un grupo terminal carboxilo, la cadena puede ser saturada (que no contiene dobles enlaces) o insaturada (que contiene uno o más dobles enlaces). Algunos contienen anillos de tres carbonos, grupos hidroxilo o grupos metilo ramificados. Estos son parte de los fosfolípidos y de glicolípidos (Stryer, 1975) esenciales de las membranas. Se almacenan como triacilgliceroles que son esterres sin carga del glicerol, también llamados grasas neutras o triglicéridos (Nelson *et al.*, 2009).

Nomenclatura

Para nombrar a los ácidos grasos, se hace en base en el hidrocarburo con el mismo nombre y ordenamiento de átomos de carbono, cambiando la terminación por –oico. Los átomos de carbono se numeran desde el carbono carboxilo (carbono 1), los átomos de carbono adyacentes (carbonos: 2, 3 y 4) al carbono carbonilo también se conocen como los carbonos α , β y γ , respectivamente y el carbono metilo terminal recibe el nombre de carbono ω o n , en este caso las posiciones de los dobles enlaces se indican en relación al carbono ω (Harper, 2010).

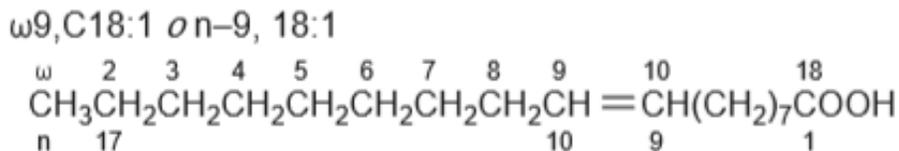


Figura 1. Nomenclatura del ácido graso linoleico (Tomado de Harper, 2010).

Los ácidos grasos contienen de 4 a 28 carbonos, en sistemas biológicos suelen ser de 14 a 24 átomos de carbonos, la cadena puede ser saturada, mono- o poli-insaturada. La ubicación de los dobles enlaces en la mayoría de los ácidos grasos insaturados es en la configuración *cis* (tipo de isomerismo geométrico en función de la orientación de átomos o grupos alrededor de los ejes de dobles enlaces, que impide la rotación, estando en el mismo lado del enlace. Si están en lados opuestos se le denomina *trans*) y están separados por lo menos por un grupo metilo (Harper, 2010).

Las propiedades de los ácidos grasos y de sus lípidos son dependientes del largo de su cadena y del grado de saturación. Los ácidos grasos insaturados tienen un punto de fusión más bajo que los ácidos grasos saturados con la misma longitud de cadena.

El concepto fisiológico de la esencialidad de los ácidos grasos en los mamíferos, se debe a la incapacidad para incorporar dobles enlaces en las posiciones 3 y 6, por lo que se consideran a las familias n-6 como el ácido linoleico (C18:2, LA), el ácido araquidónico (C20:4, AA) y el ácido docosapentaenoico (C22:5, DPA)), y n-3, como el ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 n-3), el ácido alfa-linolénico (LNA, C18:3) y el ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6 n-3), que se deben de obtener por medio de la alimentación (Palmquist, 2009). Estos ácidos grasos esenciales se encuentran principalmente en los fosfolípidos de membranas que se caracterizan por tener principalmente ácidos grasos saturados en la posición 1, mientras que en la posición 2 contiene principalmente ácidos grasos insaturados de cadena larga (Stryer, 1975).

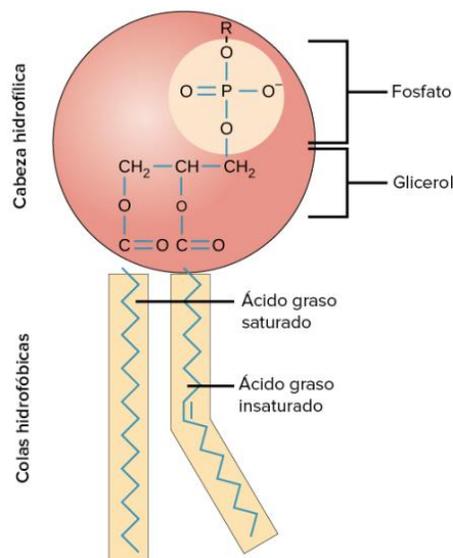


Figura 2. Estructura de un fosfolípido (Tomado de OpenStax Biología: <https://openstax.org/details/books/biology>).

Los fosfolípidos forman una bicapa lipídica, que consta de dos hojas de fosfolípidos donde los grupos de la cabeza polar hidrofílica se orientan en dirección contraria uno del otro, y se exponen al ambiente polar en las superficies externa e interna de la membrana. Las colas no polares hidrofóbicas de estas moléculas están orientadas una hacia otra, hacia el centro de la membrana. La estructura de las colas de ácidos grasos de los fosfolípidos es importante para las propiedades de la membrana: fluidez, grosor, curvatura, anclaje y asociación de moléculas como proteínas.

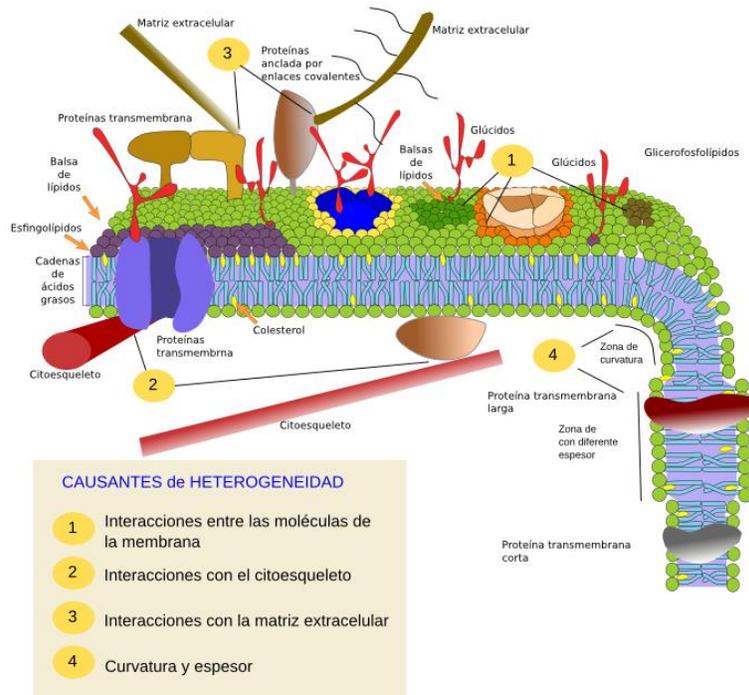


Figura 3. Estructura de la membrana celular (Tomado de *Alberts et al.*, 2015).

Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y la expresión génica

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga PUFA (por sus siglas en inglés), particularmente de la familia n-3 como el DHA tienen efectos a nivel de la expresión génica, ya que afectan factores de transcripción críticos para modular la expresión de genes que controlan la homeostasis lipídica sistémica y específica de tejidos (*Deckelbaum et al.*, 2006).

Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y el sistema inmune

Estos ácidos grasos participan en el control del sistema inmunológico (*Leskanich et al.*, 1999) ya que se usan para formar ácidos grasos eicosanoicos (C20), que dan lugar a los eicosanoides prostaglandinas, tromboxanos, leucotrienos y lipoxinas. El precursor para la síntesis de eicosanoides se libera de los fosfolípidos de la membrana celular, generalmente por la acción de la fosfolipasa A2 activada en respuesta a un estímulo celular, los cuales median la inflamación y el dolor (*Calder et al.*, 2002), dan fluidez a las membranas celulares, manteniendo un estado óptimo de salud física y mental (*Valenzuela et al.*, 2001 y *Swanson et al.*, 2012).

Digestión y absorción de lípidos

Para hacer uso de los lípidos provenientes de la dieta, se requiere de la digestión y absorción de las grasas, en el tracto gastrointestinal. Las grasas son insolubles en agua por lo que es necesario hidrolizar y emulsificar en gotas muy pequeñas (micelas) para facilitar su absorción; las vitaminas liposolubles (A, D, E y K) y otros lípidos (entre ellos el colesterol) se absorben disueltos en las micelas (Bauer *et al.*, 2005). Las lipasas linguales y gástricas inician la hidrólisis de los triacilgliceroles; atacan el enlace éster sn-3, y forman 1,2-diacilgliceroles y ácidos grasos libres. Posteriormente, la digestión continúa en el intestino delgado (duodeno) por la acción sinérgica de la lipasa pancreática y la colipasa dando por resultado 2-monoacilgliceroles y ácidos grasos libres como los principales productos terminales de la digestión luminal del triacilglicerol (Lehninger, 2009). Las sales biliares, que se forman en el hígado y se secretan hacia la bilis, permiten la emulsión de las grasas así como la difusión a través del ambiente acuoso de la luz intestinal permitiendo un contacto estrecho con el borde de cepillo de las células de la mucosa facilitando el proceso de absorción. Las sales biliares pasan al íleon, donde la mayor parte se absorbe hacia la circulación enterohepática (Harper, 2010).

Metabolismo de los ácidos grasos esenciales

La mayoría de los ácidos grasos absorbidos se incorporan al glicerol para formar los triacilgliceroles y se transportan desde el intestino hacia los tejidos periféricos en forma de quilomicrones y/o lipoproteínas (Palmquist, 2009). Los quilomicrones se metabolizan en los tejidos que tienen lipoproteína lipasa, que hidroliza el triacilglicerol, liberando ácidos grasos que se incorporan hacia los tejidos o se oxidan como combustible (Harper, 2010). Otra fuente de ácidos grasos de cadena larga es la síntesis a partir de carbohidratos (síntesis de *novo*), en el tejido adiposo y en el hígado; el triacilglicerol del tejido adiposo se hidroliza (lipólisis) y se liberan glicerol y ácidos grasos libres hacia la circulación. Los ácidos grasos son transportados, unidos a albúmina sérica.

Los ácidos grasos se activan antes de ser catabolizados por medio de la enzima acil-CoA sintetasa, que se encuentra en el retículo endoplásmico, los peroxisomas, dentro y sobre la membrana externa de las mitocondrias; obteniendo acil-CoA. Los ácidos grasos de cadena larga penetran en la membrana mitocondrial interna transportados por la carnitina (β -hidroxi- γ -trimetilamonio butirato); ampliamente distribuida en el músculo. Por la carnitina palmitoiltransferasa-I (a nivel de la membrana mitocondrial externa), la acil-CoA de cadena larga se convierte en acilcarnitina, otorgando la capacidad para penetrar la membrana interna para liberar el sistema de enzimas (matriz mitocondriales) de la β -oxidación; estas catalizan la oxidación de acilCoA hacia acetil-CoA. Primero ocurre la separación de los carbonos α y β , que es catalizada por la acil-CoA deshidrogenasa en presencia de FAD (flavín adenín dinucleótido), formándose Δ^2 -

trans-enoil-CoA y FADH_2 (gracias a la flavoproteína transferidora de electrón se lleva a cabo la reoxidación de FADH_2 por la cadena respiratoria). Posteriormente se satura el doble enlace (Hidratación) y se forma 3-hidroxiacilCoA, catalizado por la Δ^2 -enoil-CoA hidratasa. El derivado 3-hidroxi pasa por otra deshidrogenación formando 3-cetoacil-CoA por medio de NAD^+ . Por último, la 3-cetoacil-CoA se rompe en la posición 2,3 por medio de la 3-cetoacilCoA-tiolasa, formando acetil-CoA y una nueva acil-CoA. Los ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono se oxidan por medio de esta vía, hasta la formación de constituyentes del ciclo de Krebs (succinil-CoA). Para los ácidos grasos insaturados la oxidación sigue el mismo proceso hasta formar un compuesto Δ^3 -cis-acil-CoA o uno Δ^4 -cis-acil-CoA, según la posición de los dobles enlaces, el compuesto se isomeriza (Δ^3 cis \rightarrow Δ^2 -trans-enoil-CoA isomerasa) para ingresar a la etapa de hidratación y oxidación subsiguientes (Harper, 2010).

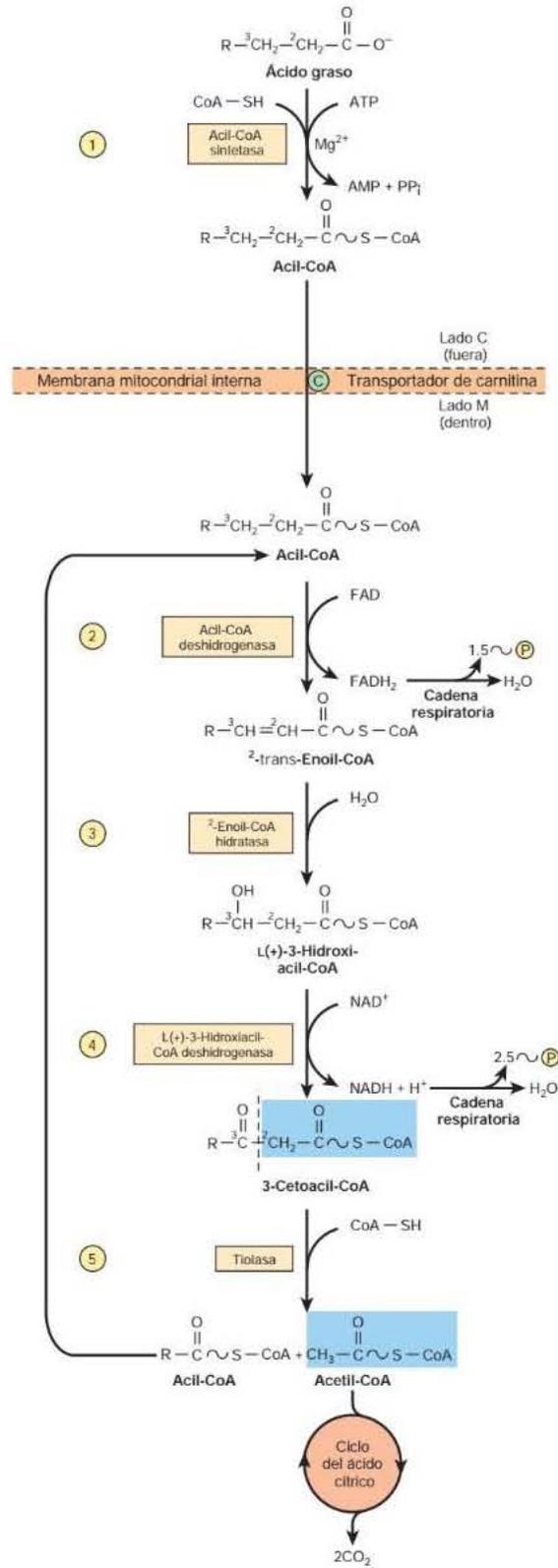


Figura 4. β -oxidación de ácidos grasos (Tomado de Harper, 2010).

Biosíntesis de ácidos grasos

La biosíntesis de ácidos grasos ocurre en el citosol de las células, principalmente en el tejido hepático, renal, pulmonar, de la glándula mamaria y adiposo. El paso inicial es la producción de malonil-CoA a partir de la carboxilación de la acetil-CoA mediante la acetil-CoA carboxilasa, en todos los organismos las cadenas carbonadas largas de los ácidos grasos se forman mediante una secuencia repetida de reacciones con cuatro etapas, catalizadas por un sistema denominado ácido graso sintasa: 1) Condensación: la formación de acetoacetil-ACP en la cual intervienen los grupos acetilo y malonilo activados, produciendo simultáneamente CO₂, 2) Reducción del grupo carbonilo: el acetoacetil-ACP se reduce en el grupo carbonilo formando D-β-hidroxiacetil-ACP catalizado por la β-cetoacil-ACP reductasa, siendo el NADPH el dador electrónico, 3) Deshidratación: mediante la β-hidroxiacetil-ACP deshidratasa se elimina agua formándose un doble enlace trans-Δ²-butenoil-ACP y 4) Reducción del doble enlace; por acción de la enoil-ACP reductasa (el dador electrónico es el NADPH. Siete ciclos de condensación y reducción producen el grupo saturado palmitilo (16 carbonos). El alargamiento de la cadena por el complejo de la sintasa se detiene liberando palmitato, libre de la molécula de ACP por acción de la tioesterasa (Nelson *et al.*, 2009).

Factores que afectan la deposición de las grasas en los cerdos

El calor de combustión aportado por la dieta es relevante ya que coadyuva al correcto funcionamiento del organismo. El mantenimiento junto con la termorregulación se consideran prioritarios, y la energía restante se usa para la deposición de proteínas y lípidos. El requerimiento de energía de mantenimiento se puede expresar en función del peso vivo (Milgen *et al.*, 1999 y NRC, 2012), por lo que el consumo voluntario de alimento y de energía juegan un papel crucial en el crecimiento y la composición corporal (Li *et al.*, 2017 y Dunshea *et al.*, 2003), ya que tienen un impacto sobre la eficiencia y en la calidad de los cerdos.

Conforme el cerdo incrementa su consumo de alimento/energía la deposición de proteína aumenta de manera lineal hasta alcanzar un punto máximo (determinado intrínsecamente por el animal) de deposición, para dar paso a la deposición de grasa. El genotipo, el sexo, la edad, el ambiente, modificadores metabólicos, entre otros, pueden afectar este comportamiento (Dunshea *et al.*, 1998); haciendo necesario el conocimiento del punto de inflexión de la curva de deposición de proteína y de grasa. La relación de proteína:energía, así como el equilibrio de aminoácidos en la dieta pueden tener un efecto en la deposición del tejido; al aumentar la relación, la deposición de grasa disminuye, por lo que alimentar a los cerdos con dietas cuya relación este por debajo del requerimiento (debajo del punto de inflexión) aumentará la deposición de grasa, reflejado principalmente en la grasa dorsal (Li *et al.*, 2017 y King *et al.*, 2000).

De igual forma, elevadas temperaturas ambientales, repercuten directamente en el consumo voluntario de alimento, ocasionando un estrés calórico que provoca una disminución del consumo (Quiniou *et al.*, 2000) y peso de las grasas visceral y subcutánea (Collin *et al.*, 2002), sin embargo a un nivel similar de consumo de alimento (alimentación restringida), la alta temperatura ambiental, induce una mayor deposición de grasa dorsal y visceral en los cerdos, ya que bajo estas condiciones la actividad de la enzima málica y glucosa-6-fosfato deshidrogenasa se deprime, así como la actividad de la acetil-CoA carboxilasa (Kouba *et al.*, 2001).

Se sabe que el consumo voluntario de alimento y el crecimiento entre machos enteros, hembras y machos castrados es diferente (King *et al.*, 2000). Los machos enteros depositan más proteína y menos grasa en comparación de las hembras y machos castrados (Dunshea *et al.*, 1998). Por lo que, conocer la cantidad de energía en el alimento y las diferentes formas de ofrecerlo, pueden ayudar a maximizar la deposición de proteína y evitar un exceso en el depósito de grasa.

A pesar de que la mayoría de las compañías de genética porcina, se han enfocado en aumentar la cantidad de tejido magro, la mayoría no son capaces de llegar a una máxima deposición de proteína, sin considerar el aporte de energía por el alimento, especialmente en finalización, lo cual solo evidencia que, cualquier factor que afecte directamente al consumo voluntario de alimento, tendrá efectos directamente en el crecimiento y deposición de tejido magro (Dunshea *et al.*, 2003).

Uso de grasas en la alimentación de cerdos

Debido a la alta densidad energética y digestibilidad que tienen las grasas (NRC, 2012), se han incorporado en las dietas de los cerdos en crecimiento y finalización, ya que permiten alcanzar los requerimientos de energía de manera más práctica, otorgando una mayor palatabilidad a la dieta (De la Llata *et al.*, 2001). También se ha demostrado que disminuyen el consumo voluntario de alimento, aumentando la ganancia de peso y mejorando la eficiencia alimenticia y grasa de la canal (Dunshea *et al.*, 2003). Sin embargo el tipo de grasas, especialmente su composición lipídica se relacionará con el perfil de ácidos grasos depositados en los cerdos (Stephenson *et al.*, 2016).

Lograr un enriquecimiento natural del tejido graso con ácidos grasos insaturados de cadena larga en especial de la familia n-3, es posible, por medio de fuentes ricas en estos ácidos grasos, como el aceite de pescado. Sin embargo, el sabor de la carne se puede alterar, otorgando un gusto desagradable y potenciando la oxidación (Meadus *et al.*, 2013), por lo que fuentes de origen vegetal, como el grano de Lino (*Linum usitatissimum*), 30 - 40% de n-3 en la grasa (Jiménez *et al.*, 2013) y el grano de Chía (*Salvia hispánica*) 25 - 40% de n-3 en la grasa (Peiretti *et al.*, 2009), al no conferir sabores desagradables, su uso se ve limitado por su calidad y rendimiento variable.

Una alternativa, es el uso de algas heterótrofas de origen marino (Sardi *et al.*, 2006) (Guschina *et al.*, 2006), organismos unicelulares que crecen a partir del uso de oxígeno y alguna fuente de carbono como desperdicios de plantas; teniendo un alto contenido de ácidos grasos insaturados de cadena larga, principalmente DHA (28-40% de n-3 en la grasa), con un rendimiento y calidad constantes (Vossen *et al.*, 2016 y Guschina *et al.*, 2006). Ya que existe un creciente interés, por los consumidores de productos cárnicos enriquecidos de cerdo, la demanda ha creado mercados para la venta de este tipo de productos principalmente en Asia y Europa permitiendo aumentar el valor (nutritivo y monetario) de la carne de cerdo, haciendo accesible el aumento de costos en la dieta por el uso de este tipo productos.

Deposición de la grasa en los cerdos

Al nacimiento el cerdo tiene <2% de grasa corporal (Pettigrew, 1981 y Valdés, 2017). Sin embargo, terminando el periodo de lactación, hay un aumento en la cantidad de grasa en el animal, debido a que la leche de las cerdas contiene una gran proporción de grasa. Después del destete los lechones cambian de una dieta líquida rica en grasas a una dieta sólida alta en carbohidratos, presentándose una disminución del contenido de grasa y de la lipogénesis en el animal. Cuando el cerdo se adapta al proceso del destete y a la nueva alimentación, el consumo de alimento se incrementa, al igual que la deposición de grasa corporal, debido a la hiperplasia e hipertrofia del tejido adiposo (Dunshea *et al.*, 2003). A medida que los animales crecen y se acercan a los 110 kg, los lípidos representan alrededor del 75-90% del total del peso húmedo del tejido adiposo y se localizan casi por completo dentro de los adipocitos. El tejido adiposo está presente en el tejido subcutáneo, en el exterior de los músculos, entre las fibras musculares así como en el riñón, corazón e intestino (grasa omental).

Las grasas en la calidad de carne

La ontogénesis de la deposición de grasa, principalmente en los cortes de carne de cerdo, la industria ha comenzado a tomar interés, ya que las grasas se consideran factores importantes que afectan directamente la calidad de la carne (Stephenson *et al.*, 2016). Estas grasas proporcionan un valor nutricional a la carne, así como características sensoriales deseables. Sin embargo, grasas con un alto grado de insaturación tienden a la oxidación, lo que resulta en una disminución de la palatabilidad, color y sabores indeseables (Wood *et al.*, 1997). En particular, los ácidos grasos libres son más propensos a la oxidación, al liberarse por lipólisis; desarrollando compuestos como aldehídos, cetonas y alcoholes (Rossi *et al.*, 2010).

Métodos de verificación de los ácidos grasos presentes en la grasa de los cerdos

El conocer el contenido de ácidos grasos presente en la grasa de los cerdos, permite llevar a cabo las prácticas necesarias para el manejo y control de los productos. Existen técnicas como la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases que ayudan a conocer el contenido, sin embargo su uso se ve limitado por el elevado costo y la falta del equipo especializado para realizar la técnica. Al respecto existen técnicas más accesibles para estimar los cambios en composición lipídica:

Índice de yodo

Los resultados de esta técnica son usados por las empacadoras para evaluar las características de la grasa, como un indicador de la proporción de ácidos grasos insaturados en la carne y grasa (Benz *et al.*, 2010). El valor de yodo es una estimación de la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes; el yodo se unirá a los enlaces dobles en el ácido graso, por lo que, una mayor cantidad de yodo se unirá a una muestra que tenga mayor cantidad de insaturaciones (AOCS, 1998). Actualmente esta técnica es usada como un indicador de la calidad de carne y grasa de la canal (Benz *et al.*, 2011). El índice de yodo es expresado como centigramos de yodo absorbido por 100/g de muestra. Valores muy altos (73-75 g/100 g) no son los ideales ya que crea problemas en las empacadoras al encontrar “grasas muy suaves” provocando dificultades al rebanar y se observa una reducción en la vida de anaquel por la alta rancidez oxidativa (NRC, 2012).

Punto de fusión

El punto de fusión es la medición de la temperatura a la cual una grasa pasa de un estado sólido a un estado líquido. Esta técnica tiene una relación inversa con el índice de yodo (AOAC, 2000).

Oxidación lipídica

La oxidación lipídica se presenta por un mecanismo autocatalítico de radicales libres llamado autooxidación, en el que se generan alcoholes, ácidos y aldehídos; afectando negativamente el olor, sabor, valor nutricional, mermando la calidad de los productos (Meadus *et al.*, 2013).

Parámetros de calidad de carne

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define a la calidad de carne por su composición (coeficiente magro-graso) y por factores de palatabilidad tales como su aspecto, olor, firmeza, jugosidad, ternura y sabor.

Particularmente la carne de cerdo posee propiedades inherentes decisivas para la calidad final. Sin embargo esto es afectado por la raza, genotipo, alimentación (Cannon *et al.*, 1995), manejo previo a la matanza, método de insensibilización y de matanza así como las condiciones de enfriamiento y almacenamiento (Park *et al.*, 2008). Las características de la carne como la composición y contenido de grasa son afectadas por el genotipo y la alimentación de los animales (Wood *et al.*, 1997). Mientras que el pH, la pérdida de agua por goteo y el color, son afectados por la mayoría de estos factores (Rosenvold *et al.*, 2003).

Color

El color es considerado un indicador importante para la evaluación de la calidad del producto y principal factor de compra por el consumidor. La Commission international de l'Eclairage (CIE, 1998) define el color percibido como el atributo visual que se compone de una combinación de contenidos cromáticos y acromáticos. Existen factores que afectan el color de la carne como: el contenido de pigmentos, manejo pre y post mortem (estrés, temperatura y pH), la cantidad de mioglobina (su oxidación y reducción determinará el color de la carne). Estas características van relacionadas con el tipo de músculo, edad, raza, especie y alimentación (Lindahl, 2005).

Capacidad de retención de agua (capacidad de hidratación)

La mayoría de las características de la carne, apreciadas por el consumidor como el color, la textura y la firmeza se encuentran relacionadas con la cantidad de agua contenida o que puede retener la carne, que va a influir en la eficiencia del sistema y en el rendimiento final del producto. Teniendo una baja capacidad de retención de agua provoca un goteo constante que interfiere en los sistemas de empaque, resultando en pérdidas importantes de la calidad del producto y económicas para la industria.

Pérdida de agua por goteo

La pérdida por goteo se define como la cantidad de líquido exudado (agua y proteínas principalmente) en la superficie de la carne sin ejercer una fuerza mecánica externa (siendo únicamente la gravedad) posterior al rigor mortis (Braña *et al.*, 2011).

Textura

Según la norma ISO 5492:2, la textura se define como “todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos” (Rosenthal, 1999).

La textura (dureza/terneza) es considerada una de las características sensoriales más importantes de la carne, la cual es considerada en la evaluación de calidad por parte

del consumidor. Está relacionada con el estado e interacción de las diferentes estructuras del músculo y sus componentes (miofibrillas, tejido conjuntivo y agua). Se ve afectada principalmente por la especie, raza, sistema de producción, sistema de refrigeración y congelado, maduración de la carne, el acortamiento de los sarcómeros (estado de contracción muscular), cantidad y características del tejido conjuntivo, temperatura de cocción de la carne e inclusive el uso de sistemas de ablandamiento. En cuanto a carne cocinada también es necesario considerar el método de cocción usado en su preparación.

Dada la importancia que los consumidores conceden a la suavidad, diferentes métodos se han utilizado para medir la suavidad de la carne: test de tensión, medidas por penetración y el más usado es la fuerza de corte (Warner-Bratzler), por lo que es necesario el uso de un texturómetro que mide de forma objetiva la resistencia al aplicar una fuerza de corte (Honikel, 1998).

Hipótesis

Adicionar ácidos grasos insaturados de cadena larga (AGICL) de manera controlada en la dieta de cerdos propiciará el enriquecimiento de la carne, pero es necesario evaluar el impacto de la infiltración de AGICL alcanzable mientras se conserva la calidad tecnológica y estabilidad oxidativa de la carne. Por lo que, una combinación pre-establecida de ácidos grasos insaturados de cadena larga (DHA + ácido linoleico) en la dieta de cerdos durante el crecimiento y finalización modificará el perfil de lípidos de las grasas de los animales, sin alterar la producción, calidad de la carne y de la misma grasa.

Objetivo

Evaluar la respuesta productiva de cerdos alimentados con una combinación de ácidos grasos insaturados de cadena larga, a partir de DHA + ácido linoleico, durante el crecimiento y la finalización, así como las repercusiones en las características fisicoquímicas y de estabilidad oxidativa en la carne y grasa.

Material y Métodos

Instalaciones

El experimento se realizó en el área de crecimiento y finalización de la granja experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria (CENID) en Fisiología y Mejoramiento Animal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Localizado en Ajuchitlán, Colón, Querétaro, México a 20°41'41 58" N y 100°00'55 06" O y 1,967 m sobre el nivel del mar. Los animales se alojaron en jaulas individuales, con una superficie de 1.95m², delimitadas por estructura de acero con piso frontal de concreto (60%) y en la parte posterior con malla trenzada de acero (40%), cada jaula con un comedero y bebedero de chupón. Las determinaciones de laboratorio se llevaron a cabo en el laboratorio de Carnes del CENID Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP.

Animales, Manejo y Alimentación

El experimento se condujo con los lechones de 12 cerdas PIC337 × (Large White × Landrace). Se eligieron 6 cerdas al azar para ser alimentadas con 4.0% de grasa en la dieta, desde el último tercio de gestación y en lactación con una fuente de grasa: SEBO con una relación n6:n3 = 13.5:1 y 6 cerdas con DHA por una mezcla de 94.8% aceite de cártamo (con alto contenido de n6) más 5.2% de una fuente de DHA (284 ± 50g de

DHA/kg de producto, LG-Max®, Alltech México), para una relación n6:n3 = 5:1 (Cuadro1). Desde el destete, los lechones se alimentaron con el mismo patrón de grasas que sus madres, hasta el día 76±1.0 de vida cuando, partiendo de la camada de origen y sexo (hembras y machos castrados) se aleatorizaron individualmente a 4 tratamientos (Cuadro 2), producto del arreglo factorial del uso previo de SEBO o DHA desde el último tercio de gestación hasta el día 76 de vida que se multiplicó por la continuación o cambio de la fuente de grasa: 1) SEBO-SEBO (SS), 2) SEBO-DHA (SD), 3) DHA-SEBO (DS) y 4) DHA-DHA (DD), con un 2% de grasa adicionada a las dietas según el tratamiento y la relación n6:n3. De un total de 137 lechones disponibles, 124 animales al día 76 de vida fueron aptos para el experimento recibiendo los tratamientos por 98 días.

Cuadro1. Composición de las fuentes de grasa usadas en el experimento.

Ácido graso	SEBO	DHA ^a	Aceite de cártamo ^b	DHA+ Aceite de cártamo
< C18	34.20	61.88	4.30	7.29
Estearico, C18:0	30.66	1.80	1.70	1.71
Oleico, C18:1	32.05	0.10	75.70	71.77
Linoleico, C18:2	2.43	0.10	14.45	13.70
Linolénico, C18:3	0.18	0.10	1.50	1.43
Araquídico, C20:0	0.11	0.28	0.30	0.30
Araquidónico, 20:4	0.03	0.10	0.10	0.10
Eicosapentaenoico, C20:5	ND	0.28	0.60	0.58
Docosapentaenoico, C22:5	0.02	0.10	ND	0.01
Docosahexaenoico, C22:6	ND	27.20	0.90	2.27

^a Fuente de DHA (5.2%) de LG-Max®, Alltech México, 27% DHA.

^b Aceite de cártamo (94.8% de n6 como ácido linoleico).

ND= no detectable.

Cuadro 2. Resultado de la aleatorización de los cerdos a los tratamientos.

Tratamientos	SEBO-SEBO	SEBO-DHA	DHA-SEBO	DHA-DHA
Hembras	15	13	19	15
Machos	16	16	15	15

Las dietas se formularon conforme al modelo NRC (2012) con ayuda de un programa de formulación lineal a costo mínimo para una densidad de nutrientes de acuerdo a los parámetros de la granja para el último tercio de gestación, lactación (Cuadro 3), 56 días postdestete (Cuadro 4) y en la fase experimental (Cuadro 5), que consistió de cuatro fases de alimentación con intervalos de 21 días cada una y de una última fase (finalización) por un periodo de 35 días con una relación n6:n3 de 1:1 (para los tratamientos con DHA). Tomando en cuenta los precios de oportunidad de la zona se usaron ingredientes convencionales como el grano de sorgo, pasta de soya, de canola, y de cártamo. En el programa de enriquecimiento de la carne, las dietas se formularon en función de la energía metabolizable, usando como estrategias, la disminución paulatina del porcentaje de proteína y lisina en la dieta (Castañeda, 2001); así como la inclusión de gluten de maíz en la última fase de alimentación, debido a su alto porcentaje de proteína y del aminoácido leucina, para favorecer la deposición de grasa intramuscular (Hyun *et al.*, 2003 y Hyun *et al.*, 2007).

Cuadro 3. Ingredientes y composición de las dietas para cerdas reproductoras.

Ingredientes	Gestación 1 ^a	Gestación 2	Lactación
	kg/ t		
Sorgo, grano	501.80	432.00	669.80
Soya, cascarilla	360.00	360.00	15.00
Soya, pasta	28.00	85.00	121.00
Cártamo, pasta	68.00	64.00	60.00
Melaza	0.00	0.00	60.00
Grasa	29.00	40.00 ^b	40.00 ^b
Fosfato	2.70	7.80	9.60
Otros	5.00 ^c	5.00 ^c	5.00 ^d
Colina HCl	2.70	2.50	2.20
Carbonato de calcio	1.50	2.08	8.80
Minerales traza, pmx	0.70	0.80	0.80
Vitaminas, pmx	0.60	0.60	0.70
L-Lisina HCl	0.00	0.22	4.72
EM, Mcal/kg	2.87	2.92	3.27
EN, Mcal/kg	2.09	2.10	2.50
Proteína cruda, % ^{e, f}	11.00	13.00	13.89
Lisina digestible, %	0.33	0.47	0.80
Calcio total, %	0.32	0.45	0.63
Fósforo total, %	0.27	0.39	0.46
Fósforo digestible, %	0.10	0.20	0.24

^a Primeros 79 días de gestación

^b SEBO (n6/n3= 13.5:1) o una premezcla de aceite de cártamo (94.8%) más una fuente de DHA de algas heterotróficas (LG-Max[®], Alltech México, 27% DHA) con una relación n6:n3=5:1.

^c Sal yodada 4.00 kg; *Saccharomyces cerevisiae* 0.50 kg; carbohidrasa 0.30 kg; fitasa 0.20 kg.

^d L-Treonina 1.59 kg; DL-Metionina 0.61 kg; L-Triptófano 0.18 kg.

^e Valores sin proyectar los efectos de la inclusión de enzimas.

^f Resultados de constatación similares a los proyectados.

Cuadro 4. Ingredientes y composición de las dietas para lechones al destete.

Ingredientes	Fase 1	Fase 2	Fase 3
	kg/ t		
Sorgo, grano	269.98	305.65	436.40
Maíz amarillo, grano	280.00	280.00	200.00
Suero leche, entero deshidratado	162.00	80.00	--
Soya, pasta	120.00	160.00	200.00
Otros ^a	75.30	75.30	75.30
Grasa ^b	35.00	35.00	22.00
Canola, pasta	30.00	40.00	50.00
L-Lisina HCl	6.91	5.50	4.32
Fosfato monodivalente	5.50	5.70	2.40
Calcio, carbonato	5.30	4.90	5.40
L-Treonina	2.44	1.80	1.43
DL-Metionina	1.96	1.15	0.79
Minerales traza, pmx	1.00	0.80	0.90
Antibióticos	1.00	1.00	0.04
Colina – HCl	0.70	0.70	1.00
L-Triptófano	0.56	0.45	0.06
Amilasa y proteasa ^c	0.35	0.35	--
L-Valina	1.50	0.95	--
L-Isoleucina	0.50	0.75	--
EM, Mcal/ kg	3.43	3.42	3.35
EN, Mcal/ kg	2.55	2.54	2.48
Proteína cruda, % ^{e, f}	18.69	20.02	21.43
Lisina total, %	1.55	1.51	1.49
Lisina digestible, %	1.38	1.32	1.28
Ca total, %	0.68	0.65	0.60
Fósforo total, %	0.61	0.60	0.53
Fósforo digestible, %	0.40	0.37	0.27

^a Harina de pescado 70 kg; Premezcla de vitaminas 0.80 kg; Ronozyme-VP® 0.30 kg; Ronozyme HiPhos® 0.20 kg.

^b SEBO (n6/n3= 13.5:1) o una premezcla de aceite de cártamo (94.8%) más una fuente de DHA de algas heterotróficas (LG-Max®, Alltech México, 27% DHA) con una relación n6:n3=5:1.

^c Ronozyme Histarch®, 0.15 kg; Ronozyme ProAct®, 0.20 kg, Sal, 4.00kg

^e Valores sin proyectar los efectos de la inclusión de enzimas.

^f Resultados de constatación similares a los proyectados.

Cuadro 5. Dietas para cerdos en crecimiento-finalización.

	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7
Ingredientes				
				kg/ t
Sorgo, grano	739.90	733.40	751.00	788.00
Maíz, gluten	--	--	--	24.20
Soya, pasta	122.00	83.00	30.50	--
Cártamo, pasta	30.00	60.00	80.00	90.00
Grasa ^a	20.00	20.00	16.00	20.00
Canola, pasta	60.00	80.00	100.00	56.00
L-Lisina HCl	4.90	4.75	4.23	4.11
Otros ^b	4.90	4.90	4.90	4.90
Fosfato	6.50	2.70	2.41	2.80
Calcio, carbonato	7.65	7.13	7.80	7.70
L-Treonina	1.55	1.60	1.33	1.14
DL-Metionina	0.75	0.39	0.06	--
Antibióticos	0.50	0.50	0.30	--
Vitaminas, pmx	0.50	0.50	0.50	0.25
Colina - HCl	1.10	1.00	0.90	0.80
L-Triptófano	0.00	0.13	0.07	0.10
EM, Mcal/kg	3.24	3.22	3.18	3.21
EN, Mcal/kg	2.48	2.49	2.48	2.55
Proteína cruda, % ^{c, d}	15.49	15.14	14.00	13.00
Lisina total, %	1.04	0.98	0.84	0.69
Lisina digestible, %	0.90	0.84	0.72	0.60
Calcio total, %	0.50	0.43	0.45	0.42
Fósforo total, %	0.45	0.39	0.39	0.36
Fósforo digestible, %	0.20	0.13	0.12	0.12

^a SEBO (n6/n3= 13.5:1) o una mezcla de aceite de cártamo (94.8%) más una fuente de DHA de algas heterotróficas (LG-Max[®], Alltech México, 27% DHA) con una relación n6:n3=5:1.

^b Carbohidrasa 0.30 kg (Ronozyme-VP[®]); Fitasa 0.20 kg (Ronozyme HiPhos[®]); Minerales traza 0.80 kg; NaCl 3.60 kg.

^c Los resultados de constatación fueron similares a los calculados.

^d Valores sin proyectar los efectos por la inclusión de enzimas.

Criterios de respuesta

Durante el periodo experimental, el alimento se ofreció en forma de harina, dividiendo la comida en dos raciones al día (8:00 y 16:00 h). Se registró el alimento ofrecido y se calculó el consumo diario de alimento (CDA) pesando los remanentes al finalizar cada semana. Los cerdos se pesaron individualmente, al iniciar la fase experimental, en periodos de 21 días (en cada cambio de fase de alimentación) y al finalizar el periodo experimental, para calcular la ganancia diaria de peso (GDP) y la eficiencia alimenticia (GxC). Además se midió el desarrollo de la grasa y músculo largo dorsal, a nivel de la décima y última costillas por técnicas de ultrasonografía en tiempo real (Aloka SSD-500, transductor de 3.5 MHz y 17 cm de longitud) para calcular el tejido magro libre de grasa (TMLG). Al finalizar el periodo experimental, se realizó la cosecha de los cerdos (120 ± 9.3 kg), con previo ayuno de 18 h y matanza en un rastro Tipo Inspección Federal (TIF).

Estudios de la canal

Se realizaron mediciones de pH y temperatura directamente en la canal en la región dorsal a la altura de la décima costilla a los 45 minutos y 24 horas post mortem mediante un potenciómetro de punción (HANNA instruments Inc), el cual se calibró a dos puntos (4 y 7). Posteriormente, se tomaron muestras del músculo largo dorsal de 16 cerdos por tratamiento y de las grasas: dorsal (GD) entre la décima y última costilla, superficial de la pierna (GP), del tocino (GT) y del unto (UN). La carne y las grasas se almacenaron a -20°C para su posterior análisis.

Determinaciones en carne y grasa

Color

Para las muestras del músculo largo dorsal se cortaron chuletas de aproximadamente 2-3 cm de grosor, permitiendo la oxigenación de la carne (blooming) por 30 minutos (AMSA, 2012) y medir posteriormente los parámetros de luminosidad (L^*), índice rojo-verde (a^*) e índice amarillo-azul (b^*) mediante un fotocolorímetro MiniScan HunterLab con Iluminante D65 a 10° del observador. De igual forma se usaron escalas subjetivas del color (escala NPPC, 1996 y escala INIFAP, 2013).

Capacidad de retención de agua

Mediante el método de centrifugación, se pesaron 5 g de carne, a la cual se le añadieron 8 mL de NaCl 0.6 M, agitando durante un minuto y dejando reposar por treinta minutos, posteriormente se volvió a agitar por un minuto y se centrifugó (centrifuga 5810R Eppendorf, Hamburgo, Alemania) a 10 000 rpm durante 15 min a 4°C . El sobrenadante se recolectó en una probeta de 10 ml, para posteriormente calcular el % de solución salina retenida (Hamm, 1975).

Así también por el método de compresión, se pesaron 2 g de carne, la cual se colocó dentro de un papel filtro doblado por la mitad previamente pesado. El papel filtro con la muestra se colocó entre dos placas de vidrio, para someterse a una presión de 2.5 kg por 5 minutos. Posteriormente se pesó el papel filtro para obtener el porcentaje de pérdida de agua (Hamm, 1975).

Pérdida de agua por goteo

Se cortaron chuletas de 2-3 cm de ancho, a las cuales se les retiró la grasa periférica y se registraron los pesos. Las chuletas se colgaron de un gancho y dentro de una bolsa de plástico de polietileno con cierre. Las muestras se almacenaron a 4° C y se registró el peso de las muestras a las 24 h y 48 h de haber iniciado el proceso para calcular la pérdida de peso por goteo: $(\text{peso inicial} - \text{peso final de la muestra}) / \text{peso inicial de la muestra} \times 100$ (Honikel, 1998).

Pérdida de agua por cocción

A chuletas de 2-3 cm de ancho se les retiró la grasa periférica, se registró el peso y se cocinaron en una parrilla; a los 40°C se voltearon para permitir la cocción de ambos lados de la chuleta. La cocción se detuvo hasta que la temperatura interna alcanzó los 70 °C, se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 30 min y se registró el peso final.

Fuerza de corte

Se empleó la técnica descrita por AMSA (2012). De las chuletas cocidas, transcurridas 24h entre 2-4 °C, se obtuvieron cilindros siguiendo la dirección de las fibras musculares por medio de un sacabocados, para evaluar la dureza/terneza de la carne se usó un texturómetro TA-xt Plus 11941, con Navaja Warner-Bratzler “V”.

Oxidación lipídica

Cinco gramos de carne se homogenizaron mediante un homogeneizador (IKA T25 Ultra Turrax, Alemania) con 20 mL de una solución de ácido tricloroacético, al 5% p/v durante 1 min, para posteriormente centrifugar por 20 minutos a 10,000 rpm y 4°C. El sobrenadante se filtró con papel filtro Whatman No. 4, el filtrado se colectó en tubos protegidos de la luz. Para realizar la técnica de TBARS, se tomó 1 mL del extracto y se le agregó 1 mL de ácido 2-tiobarbitúrico 80 mM, se agitó y se sometió a un tratamiento térmico a 95 °C durante 30 min, se dejó enfriar y posteriormente se leyó su absorbancia a 530nm (Raharjo *et al.*, 1992). Los resultados se expresaron como mg de malondialdehído (mg MDA)/kg de carne, fueron calculados a partir de una curva de calibración utilizando como estándar malondialdehído.

Actividad antioxidante por el método de FRAP

Se homogenizaron cinco gramos de carne en 25 mL de buffer de fosfatos (50 mM, pH 7) durante un minuto. Después se centrifugó durante treinta minutos a 10,000 rpm y 4°C y posteriormente se filtró con papel filtro Whatman No. 4. Para realizar la determinación, se tomó una alícuota de 33 µL del extracto y 967 µL de una solución de FRAP (2.5 mL de TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina 10 mM) en HCl (40 mM), 2.5 mL de FeCl₃(20 mM) y 25 mL de buffer de acetatos(300 mM, pH 3.6)). La absorbancia se determinó a 593 nm y las lecturas se tomaron al tiempo 0 y 6 min de iniciada la reacción (espectrofotómetro GENESYS 10S UV-Vis Thermo scientific). Los resultados se muestran como µmol de Fe/kg.

Punto de fusión

Una vez que la grasa se encontrara purificada, se llenaron cuatro capilares con la muestra de las grasas, se sellaron y 24 h después se llevó a cabo la técnica (AOAC, 2000). Los resultados se muestran en °C.

Índice de yodo

Previa purificación de las muestras de grasa dorsal, superficial de la porción medial de la pierna, del tocino y del unto. Se pesaron de 35-50 g de grasa en un matraz Erlenmeyer, al cual se le adicionaron 7.5 mL de una solución de ciclohexano: ácido acético (1:1) y 12.5 mL de la solución de Wijs. Se dejó reposar la reacción por una hora lejos de la luz, evitando el paso de luz para posteriormente agregar 10 mL de una solución de yoduro de potasio al 15%, 50 mL de agua destilada y titular la reacción con tiosulfato 0.1 M, registrando los mL gastados para realizar el cálculo y reportar como centigramos de yodo absorbido por gramo de muestra.

Oxidación lipídica

Se determinó por la técnica de TBARS, pesando 25 mg de la muestra, agregando 500 µl de 1- Butanol y 500 µ de ácido 2-tiobarbiturico 0.2% en 1-butanol, para someterlas a un tratamiento térmico a 95 °C durante 2 horas, se dejó enfriar y posteriormente se leyó su absorbancia a 532 nm (Pegg, 2001). Los resultados se muestran como mg MDA/kg.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados para un Modelo de Bloques Completos al Azar considerando como bloque al sexo (hembras y machos castrados). El uso de la fuente de grasa: SEBO o DHA durante gestación hasta el día 76 de vida, evaluando la respuesta acumulada a los 98 días de experimentación. Se realizaron comparaciones planeadas que fueron: el efecto mayor del uso previo de SEBO o DHA, el efecto mayor del uso posterior de la misma fuente o el cambio de la grasa a partir del d76 y el efecto de la interacción: SEBO-SEBO, SEBO-DHA, DHA-DHA, DHA-SEBO. La estadística descriptiva se aplicó para todas las variables mediante el paquete estadístico SAS (v.9.3), por medio de los procedimientos MEANS, FREQ. El comportamiento de la variación se estudió con el procedimiento UNIVARIATE para estudiar la normalidad y homogeneidad de varianzas. El procedimiento GLM se usó para el análisis de las varianzas y en el caso de las medidas repetidas en el tiempo, se usó el procedimiento MIXED. Los resultados se presentan como las medias de mínimos cuadrados, el error estándar (EE) y la probabilidad del modelo para cada una de las variables.

Resultados y Discusión

Comportamiento productivo

La respuesta acumulada del comportamiento productivo de los cerdos se muestra en el cuadro 6. En general no se apreciaron diferencias por la aplicación de los tratamientos (interacción de las grasas consumidas desde gestación hasta d76 y de la modificación o no de las grasas en crecimiento-finalización) en el comportamiento productivo (CDA: $P > 0.15$; GDP: $P > 0.57$, GxC: $P > 0.22$, profundidad de grasa en última costilla: $P > 0.53$, profundidad de músculo en última costilla: $P > 0.13$ y TMLG $P > 0.10$). En otros trabajos con grasas susceptibles a oxidación y de composición variada, tampoco se afectó el comportamiento animal (Weber *et al.*, 2006, Apple *et al.*, 2009b y Lee *et al.*, 2013).

Los resultados observados por el factor principal “grasa usada en finalización” (por el cambio de grasa) tampoco mostraron diferencias ($P > 0.23$), aunque en los cerdos alimentados con SEBO el desarrollo del músculo dorsal (profundidad del músculo: $P < 0.03$) fue mayor al de los cerdos con DHA. Contrariamente, algunos autores como Wood *et al.*, 1997, Nürnberg *et al.*, 2000 y De Smet *et al.*, 2004, indican que el aumento del músculo está asociado solo al crecimiento de los animales. Mientras que en este trabajo el crecimiento fue similar entre los animales (120 ± 9.30 kg) aún en la producción de tejido magro libre de grasa ($P > 0.10$). Estos resultados sugieren que existió algún tipo de variación técnica no controlada en la medición que generó las diferencias para la profundidad de músculo.

Respecto al factor “Grasa usada desde gestación-d76”, que fue el periodo previo al consumo de las dietas de experimentación; el peso de los cerdos alimentados con SEBO fue mayor ($P < 0.01$) 28.48 vs. DHA= 25.76 kg (E.E = 6.0), que a pesar de que el consumo de alimento fue similar entre los tratamientos (0.59 ± 0.12 kg/d) la ganancia de peso fue mayor ($P < 0.02$) 0.35 vs. 0.31 kg/d, posiblemente el consumo de ácidos grasos insaturados de cadena larga (desde la alimentación de las madres y 56d post destete) de alta susceptibilidad a la oxidación, además de la baja ingesta de antioxidantes y situaciones de estrés por manejo e instalaciones, en conjunto pudieron alterar el estatus oxidativo de los animales.

Whitney *et al.* (2004) encontraron menor crecimiento de cerdos alimentados con altos niveles de inclusión de granos secos de destilería (DDG's) en las dietas al destete. En adición, el desarrollo de los tejidos como grasa dorsal a la última y décima costilla fue mayor en los animales alimentados con SEBO ($P < 0.01$); como lo reportaron De Smet *et al.* (2004) que al usar grasas más saturadas se alcanza una mayor deposición medida como espesor de la grasa dorsal. Esto sugiere que la alimentación con DHA

estaría interactuando en el metabolismo de los ácidos grasos, al alterar su oxidación (manejo de energía) y deposición (Enser *et al.*, 2000 y Santos *et al.*, 2017).

Cuadro 6. Respuesta acumulada del comportamiento productivo de los cerdos alimentados con dos fuentes de grasa durante el crecimiento y finalización.^a

Grasa usada desde gestación-d76 ^b	SEBO ^c		DHA ^d		E.E ^e	P ^f
	SEBO ^c	DHA ^d	SEBO ^c	DHA ^d		
Tratamientos	1	2	3	4		
Número de observaciones ^g	30	27	34	30		
Peso Inicial, kg ^h	28.21	28.76	25.22	26.30	4.424	0.01
Consumo alimento kg/d	2.94	2.85	2.82	2.90	0.311	0.01
Ganancia de peso kg/d	0.98	0.95	0.97	0.96	0.074	0.01
Eficiencia alimenticia, kg	0.33	0.34	0.34	0.33	0.028	0.03
Profundidad de grasa última, cm ^h	1.40	1.41	1.20	1.28	0.345	0.01
Profundidad de músculo última, cm	6.05	5.68	6.05	5.99	0.537	0.02
Profundidad de grasa décima, cm ^h	1.57	1.52	1.23	1.42	0.370	0.01
Profundidad de músculo décima, cm ⁱ	6.05	5.68	6.05	5.99	0.699	0.03
Tejido magro libre de grasa ^j	51.76	50.32	51.46	50.81	3.390	0.52
Peso final, kg	122.96	121.14	119.04	119.23	8.797	0.01

^a Medias de mínimos cuadrados.

^b Alimentación de los cerdos desde el último tercio de gestación hasta el día 76 de vida.

^c Dietas a partir de sebo vacuno con una relación n6:n3 = 13.5:1.

^d Dietas a partir de una premezcla de aceite de cártamo (94.8%) más una fuente de DHA de algas heterotróficas (LG-Max[®], Alltech México, 27% DHA) con una relación n6:n3 =5:1.

^e Error estándar = raíz cuadrada del cuadrado medio del error.

^f Probabilidad del modelo.

^g Cerdos alojados individualmente.

^h Se encontró efecto por el uso de SEBO o DHA en la alimentación desde gestación hasta el d76 (P < 0.03).

ⁱ Se encontró efecto por el uso de SEBO o DHA en la alimentación en crecimiento y finalización (P < 0.02).

^j Tejido magro libre de grasa calculado por la ecuación: TMLG= (1.19) + (0.36 * peso final) - (2 * profundidad de grasa a la décima costilla) - (1.19 * profundidad de grasa a la última costilla) + (1.85 * profundidad de músculo a la décima costilla), Cisneros *et al.*, (1996).

Cuadro 7. Comportamiento productivo de lechones hasta 56d post-destete.^a

Variable	Tratamientos		EEM ^b	P
	SEBO	DHA		
Número de observaciones	6	6		
Peso promedio al nacimiento, kg	1.50	1.50	0.282	0.91
Peso promedio al destete, kg ^d	5.34	5.33	0.327	0.98
Consumo de alimento, kg/d	0.59	0.57	0.020	0.36
Ganancia de peso, kg/d	0.35	0.31	0.012	0.02
Eficiencia alimenticia, kg	0.61	0.57	0.017	0.08

^a Medias de mínimos cuadrados.

^b Error estándar de la media.

^c Camadas alojadas en corrales colectivos (9.7 ± 1.73 lechones)

^d Edad al destete de 20.0 ± 1.15 días.

Calidad de la carne

El pH de la carne es importante porque influye sobre las características de color, textura, sabor, capacidad de retención de agua y conservación (Hernández *et al.*, 2013). La formación de ácido láctico post mortem provoca un descenso del pH del músculo hasta que las reservas de glucógeno se terminan o hasta que las enzimas que rigen el metabolismo muscular se inactivan (Lawrie, 2006), con un papel importante en el manejo de la temperatura de enfriamiento. El pH de las canales a los 45 minutos fue de 6.5 (E.E = 0.26) con una temperatura de 31.4°C (E.E = 2.18), sin diferencias entre tratamientos ($P > 0.07$). Sin embargo, después de 24h la temperatura final solo alcanzó los 15.0°C (E.E = 1.403) con un pH de 5.8 (E.E = 0.081), similares entre canales ($P > 0.05$). En adición, la calificación de la carne necesita de una parte subjetiva (color NNPC, 1999) y una objetiva como el pH; donde una carne normal es aquella que tiene un pH entre 5.5 - 6.1 a las 24 h, pero si el pH llega a ser menor de 5.5 la carne tiende a ser suave y exudativa (PSE). El color de la carne, es una característica importante para el consumidor; en la academia e industria se usa la escala del National Pork Producers Council (NPPC = 3.0, E.E = 0.73) y últimamente para México una generada por el INIFAP (4.3, E.E = 0.49), en ambas escalas no se encontraron diferencias entre tratamientos ($P > 0.22$), la alimentación en finalización ($P > 0.63$) o por la alimentación previa ($P > 0.29$). A pesar del mal manejo de la temperatura, la conversión final de músculo a carne no se alteró, reflejado en muchas de las características de calidad, posiblemente por los niveles de vitamina E usados en el experimento (110 mg/kg en promedio, durante 98 días). En la pérdida de agua por compresión (Cuadro 7), se observó mayor pérdida (Cuadro 7) en DHA-DHA = 29.5 vs. SEBO-DHA = 23.7, SEBO-SEBO = 23.4 y DHA-SEBO = 21.4 % (E.E = 5.620, $P < 0.01$), donde se ha reportado que el tejido proteico participa en la retención de agua y no el tejido graso, por lo que a mayor proporción de tejido adiposo hay menor retención, por lo cual la incorporación de ácidos grasos, posiblemente insaturados de cadena larga produce mayor expulsión de agua (Pérez *et al.*, 2009). Aparentemente, la infiltración de grasa en la carne fue igual, resultado corroborado solo por el marmoleo evaluado subjetivamente por NPPC = 2.6, (E.E = 0.77, $P > 0.10$). No se debe descartar que la misma composición de grasa, a mayor insaturación, sea más maleable por temperatura y fuerzas físicas. Apple *et al.*, 2009 y Aguilar *et al.*, 2014 encontraron que los ácidos grasos insaturados de cadena larga adicionados a las dietas, inducían una alteración en la proporción de ácidos grasos en la grasa de cerdo, con una mayor pérdida de peso por goteo y por cocción. Contrariamente, en este trabajo, la pérdida de peso por goteo, por cocción y la fuerza al corte fueron similares entre los tratamientos ($P > 0.07$), ya que la deposición de ácidos grasos puede variar en función de la composición, nivel de inclusión de las grasas y tiempo de consumo de las dietas con ácidos grasos insaturados de cadena larga. Wiseman *et al.*, 1998, Apple *et al.*, 2009a y Apple *et al.*, 2009b encontraron cambios en la composición de la grasa de los cerdos a los 14 días, que al extender el tiempo de

consumo estos cambios desaparecen. Los resultados de oxidación lipídica para los tratamientos SEBO-SEBO y DHA-DHA sugieren que el consumo de la misma fuente de grasa en la alimentación a largo tiempo, puede equilibrar el estatus oxidativo en el tejido muscular, con valores bajos de TBARS ($P < 0.01$), así como una reducción de la actividad antioxidante ($P < 0.01$). Cabe resaltar que Apple *et al.* (2009 a y b) mencionan que la investigación se ha enfocado en el aumento de ácidos grasos insaturados de cadena larga en la carne, sin embargo, no existe información acerca del impacto que tiene el cambiar la fuente de grasa en la alimentación y si este cambio altera el equilibrio de especies reactivas y los mecanismos de defensa antioxidantes que promuevan a un estrés oxidativo que modificará la calidad de la carne. En este trabajo, se generó la información por el cambio de grasa al final de la engorda, encontrando una mayor oxidación lipídica cuando van de una alimentación con grasas saturadas a una alimentación con grasas altamente insaturadas ($P < 0.01$).

El mayor impacto en la calidad de la carne por la alimentación es en la finalización (Wiseman *et al.*, 1998, Apple *et al.*, 2009a, Apple *et al.*, 2009b y Rossi *et al.*, 2010). En este sentido, la alimentación en finalización indujo una menor capacidad de hidratación en la carne de cerdos que consumieron DHA = 12.17 % vs. SEBO = 19.78 %, E.E = 8.02 ($P < 0.01$). Esto probablemente debido el aumento de ácidos grasos insaturados de cadena larga que podrían alterar la estabilidad de las membranas celulares, disminuyendo la capacidad de las proteínas para ligar moléculas de agua (Aguilar *et al.*, 2014). Estos resultados se relacionan con la fuerza al corte ($P < 0.03$) ya que al perder más agua la carne o tener menor capacidad de retenerla, tiende a ser más dura, estos resultados concuerdan con lo obtenido por Wood *et al.* (1995) y Aaslyng *et al.* (2003) al evaluar carne de cerdo.

El consumo de grasas con mayor grado de insaturación en la alimentación previa de los animales posiblemente indujo cambios en el metabolismo del músculo en edad temprana, mismos que repercutieron en el color (L y a^* , $P < 0.01$), aunque un cambio en el tipo de grasa en la finalización no arrojó diferencias ($P > 0.41$). Rossi *et al.* (2010), Stephenson *et al.* (2016) y Vossen *et al.* (2016) no tuvieron cambios en los parámetros de color de la carne obtenida de cerdos alimentados con distintas fuentes de ácidos grasos insaturados de cadena larga.

Cuadro 8. Calidad de la carne de cerdos alimentados con dos diferentes fuentes de grasa durante el crecimiento y finalización.^a

Grasa desde gestación hasta d76 ^b	SEBO ^c		DHA ^d		E.E ^e	P < ^f
	Grasa en crecimiento-finalización					
	SEBO ^c	DHA ^d	SEBO ^c	DHA ^d		
Tratamientos	1	2	3	4		
Número de observaciones ^g	14	14	16	15		
L, luminosidad	53.79	54.33	56.75	56.57	2.265	0.01
a* ^m	8.56	8.58	7.89	7.39	1.118	0.03
b* ^m	15.27	15.36	15.69	15.62	0.780	0.15
Pérdida de agua por compresión, %	23.37	23.73	21.44	29.53	5.620	0.01
Capacidad de hidratación, % ^{h, n,}	18.13	11.28	12.51	13.16	8.024	0.23
Pérdida de peso por goteo 24 h, %	3.92	4.97	4.25	4.69	1.564	0.24
Pérdida de peso por cocción, %	25.80	22.33	22.44	22.35	3.740	0.01
Fuerza de corte, N ^{i, n}	2.97	3.41	2.65	3.07	0.471	0.04
Oxidación lipídica, mg MDA/kg ^{j, o}	0.06	0.16	0.21	0.07	0.060	0.01
Actividad antioxidante, µmol de Fe/kg ^{k,}	0.48	0.80	0.77	0.60	0.242	0.01
Actividad enzimática GPx U/g carne ^l	5.24	8.28	5.84	7.44	4.390	0.31

^a Medias de mínimos cuadrados.

^b Alimentación de los cerdos desde el último tercio de gestación hasta el día 76 de vida.

^c Dietas a partir de sebo vacuno con una relación n6:n3 = 13.5:1.

^d Dietas a partir de una premezcla de aceite de cártamo (94.8%) más una fuente de DHA de algas heterotróficas (LG-Max[®], Alltech México, 27% DHA) con una relación n6:n3=5:1.

^e Error estándar = raíz cuadrada del cuadrado medio del error.

^f Probabilidad del modelo.

^g Número de muestras de lomo entre la 10^a y última costillas por tratamiento de cerdos con 120.2 ± 9.30 kg de peso a la matanza.

^h Capacidad de hidratación por la técnica de centrifugación en NaCl.

ⁱ Equipo TA-xt Plus 11941, Stable Micro Systems con Navaja Warner-Bratzler.

^j Oxidación lipídica por la técnica de sustancias al ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS).

^k Capacidad antioxidante reductora por la técnica de FRAP.

^l Capacidad antioxidante de la enzima glutatión peroxidasa.

^m Se encontró efecto por el uso de SEBO o DHA en la alimentación desde gestación hasta el d76 (P < 0.01).

ⁿ Se encontró efecto por el uso de SEBO o DHA en la alimentación en crecimiento y finalización (P < 0.01).

Características de las grasas

Las características de las grasas se presentan en el Cuadro 8, por efecto de la interacción se observó mayor oxidación lipídica por TBARS en la grasa del tocino en DHA-DHA, 2.95mg MDA/kg vs. SEBO-DHA = 2.28, SEBO-SEBO = 1.69 y DHA-SEBO = 1.29 mg MDA/kg (E.E = 0.56, $P < 0.01$). Meadus *et al.* (2009) reportaron que en la producción de cerdos alimentados con la inclusión de 1.6% de algas marinas, los valores de TBARS para el tocino aumentaron, lo que indica un mayor potencial a la oxidación. En el mismo sentido para la grasa del unto, DHA-DHA = 3.54 mg MDA/kg vs. SEBO-DHA = 2.62, SEBO-SEBO = 1.61 y DHA-SEBO = 1.36 mg MDA/kg (E.E = 0.57, $P < 0.01$). Los resultados fueron similares a lo reportado por Romans *et al.* (1995) quienes evaluaron el comportamiento productivo y las características de la grasa dorsal y del unto de cerdos alimentados con la inclusión de 15% de semillas de linaza en la dieta, encontrando mayor oxidación lipídica en el unto. Por lo anterior se observó que altas concentraciones de ácidos grasos insaturados de cadena larga en la dieta, incrementan la oxidación lipídica, lo que sugiere que para estas grasas hubo mayor cantidad de ácidos grasos insaturados de cadena larga, sin embargo los resultados para el índice de yodo y punto de fusión no fueron diferentes ($P > 0.19$) pudiéndose deber a los patrones de deposición y metabolismo de las grasas (Dunshea *et al.*, 2003).

Los resultados por el factor principal “grasa usada en finalización” indujo cambios en la estabilidad oxidativa para la grasa dorsal de cerdos alimentados con DHA, siendo el mayor, 3.41 vs. SEBO = 1.45 mg MDA/kg (E.E = 0.92, $P < 0.01$) Estos resultados fueron similares a lo reportado por Meadus *et al.* (2013) encontrando la mayor oxidación en la grasa dorsal de cerdos alimentados con ácidos grasos insaturados de cadena larga. De igual forma el mayor índice de yodo fue para DHA, 59.30 vs. SEBO = 56.58 cg I₂/g, E.E = 1.82, $P < 0.01$). Stephenson *et al.* (2016) para valores calculados, encontraron mayor índice de yodo en la grasa dorsal de cerdos alimentados con 4% de grasas poliinsaturadas en comparación con cerdos alimentados con sebo, siendo mayor el índice de yodo cuando se alimentan solo en finalización. El punto de fusión para la grasa dorsal fue el menor para DHA, 44.68 vs. SEBO = 45.70 °C (E.E = 0.94, $P < 0.01$) siendo un indicativo de la composición insaturada de la grasa dorsal. Los resultados de la composición lipídica en la grasa del tocino fueron similares a lo obtenido en la grasa dorsal, encontrando mayor oxidación lipídica por TBARS en DHA ($P < 0.01$) y el mayor índice de yodo ($P < 0.01$). Contrariamente los resultados del punto de fusión fueron similares para las dos fuentes de grasa ($P > 0.19$). Estos resultados sugieren que existió algún tipo de variación técnica no controlada que evitara apreciar las diferencias para el punto de fusión. Los resultados para la grasa superficial de la pierna por la alimentación en finalización modificó la composición lipídica en los cerdos con DHA teniendo la mayor oxidación lipídica por TBARS ($P < 0.01$) y el mayor índice de yodo ($P < 0.02$). Kellner *et al.* (2014) reportaron que al usar grasas poliinsaturadas en la

finalización de los cerdos, se modificó la composición lipídica de las grasas del cerdo haciéndolas más insaturadas y propensas a la oxidación teniendo un mayor índice de yodo. Para la grasa del unto, el DHA repercutió en la oxidación lipídica (DHA = 3.08 vs. SEBO = 1.48 mg MDA/kg); los resultados coinciden con lo reportado por Browne *et al.* (2013), quienes observaron mayor deposición de ácidos grasos de la familia n-3 en el unto de cerdos alimentados con 7% de una mezcla de grasas amarillas y granos secos de destilería (DDG'S). Sin embargo el índice de yodo fue numéricamente mayor en los animales alimentados con DHA, similar a lo reportado por Kellner *et al.*, 2014 para cerdos alimentados con 6% de aceite de maíz. En este trabajo, los cambios en la composición lipídica de la grasas dorsal, del tocino, superficial de la pierna y del unto fueron consecuencia de la alimentación en finalización tal como lo reportado por Sardi *et al.*, 2006, Palmquist, 2009, Rossi *et al.*, 2010 y Meadus *et al.*, 2013 en sus respectivos trabajos.

Respecto al factor "Grasa usada desde gestación-d76", los resultados muestran que en la grasa superficial de la pierna se modificó la composición lipídica en las variables de oxidación lipídica por TBARS, el índice de yodo y el punto de fusión ($P < 0.03$). Estos resultados demuestran que el uso previo de grasas altamente insaturadas en las dietas de los cerdos potenciaron el efecto en la finalización para la grasa superficial de la pierna ($P < 0.01$)

Cuadro 9. Características de la grasa de cerdos alimentados con dos diferentes fuentes de grasa durante el crecimiento y finalización.^a

Grasa desde gestación hasta d76 ^b		SEBO ^c		DHA ^d		E.E ^e	P < ^f
Grasa en crecimiento-finalización		SEBO ^c	DHA ^d	SEBO ^c	DHA ^d		
Tratamientos		1	2	3	4		
Número de observaciones ^g		12	11	10	11		
Grasa Dorsal	Oxidación lipídica, mg MDA/kg ^{h,i}	1.45	3.01	1.47	3.82	0.918	0.01
	Índice de Yodo, cg I2/g ^{i,l}	56.07	59.32	57.08	59.28	1.818	0.01
	Punto de fusión, °C ^{j,l}	45.49	44.57	45.89	44.77	0.941	0.01
Tocino	Oxidación lipídica, mg MDA/kg ^{h,i}	1.69	2.28	1.29	2.95	0.560	0.01
	Índice de Yodo, cg I2/g ^{i,l}	62.39	63.78	62.54	64.38	1.688	0.01
	Punto de fusión, °C ^j	42.55	42.17	41.99	42.50	0.882	0.12
Pierna	Oxidación lipídica, mg MDA/kg ^{h,i}	1.68	2.83	2.06	3.81	0.763	0.01
	Índice de Yodo, cg I2/g ^{i,k,l}	63.44	64.94	61.23	63.55	2.685	0.01
	Punto de fusión, °C ^{e, k}	44.59	44.15	43.71	42.98	1.412	0.11
Unto	Oxidación lipídica, mg MDA/kg ^{h,i,m}	1.61	2.62	1.36	3.54	0.567	0.01
	Índice de Yodo, cg I2/g ⁱ	47.19	48.12	49.06	48.30	2.640	0.36
	Punto de fusión, °C ^j	49.20	48.53	49.16	48.68	0.980	0.50

^a Medias de mínimos cuadrados.

^b Alimentación de los cerdos desde el último tercio de gestación hasta el día 76 de vida.

^c Dietas a partir de sebo vacuno con una relación n6:n3 = 13.5:1.

^d Dietas a partir de una premezcla de aceite de cártamo (94.8%) más una fuente de DHA de algas heterotróficas (LG-Max[®], Alltech México, 27% DHA) con una relación n6:n3=5:1.

^e Error estándar = raíz cuadrada del cuadrado medio del error.

^f Probabilidad del modelo.

^g Número de muestras de grasa por tratamiento de cerdos con 120.2±9.30 kg de peso a la matanza.

^h Oxidación lipídica por la técnica de sustancias al ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS).

ⁱ Índice de Yodo mediante la técnica de Wijs (AOAC, 2000).

^j Punto de fusión capilar (AOAC, 2000).

^k Se encontró efecto por el uso de SEBO o DHA en la alimentación desde gestación hasta el d76 (P<0.01).

^l Se encontró efecto por el uso de SEBO o DHA en la alimentación en crecimiento y finalización (P<0.02).

^m Se encontró efecto por la interacción (P<0.01)

Conclusión

La inclusión de ácidos grasos insaturados de cadena larga, específicamente DHA en la dieta de cerdos en crecimiento y finalización, no alteró su comportamiento productivo como el consumo de alimento, la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia.

La inclusión de la mezcla de aceite de cártamo más la fuente de DHA no alteró los parámetros de calidad como el color objetivo, el color subjetivo y pérdida de peso por goteo.

Aparentemente, un cambio en la composición de lípidos de la grasa de cerdo es posible al incluir una combinación de aceite de cártamo (rico en oleico y linoleico) más la fuente de DHA solo en el periodo de finalización.

Al usar grasas altamente insaturadas en la dieta de los cerdos, es necesario considerar los factores que van afectar la estabilidad oxidativa en carne y grasa, su impacto en los sistema antioxidante, particularmente vitamina E, la vida media e inocuidad de los productos para poder conservar el enriquecimiento lipídico de la carne y grasa de cerdo.

Bibliografía.

- Aaslyng M D, Bejerholm C., Ertbjerg P., Bertram H. C., Andersen H. J. 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food quality and preference*. 14:4, 277-288.
- Aebi, H. E. 1983. Catalase Methods of enzymatic analysis, Vol.3. pp. 273-286.
- Aguilar T. R., Fernández Q. M., Ortiz A. O. 2014. Characterization of the effects of a polyunsaturated fatty acid (PUFA) on mitochondrial bioenergetics of chronologically aged yeast. *J Bioenerg Biomembr* 46(3):205-20.
- Alberts B., Johnson A., Lewis J., Raff M., Roberts K., Walter P. 2015. *Molecular biology of the cell*. Garland Science (6ª edición). New York.
- Apple J. K., Maxwell C. V., Galloway D. L., Hutchison S., Hamilton C. R. 2009a. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* 87:1407-1422.
- Apple J. K., Maxwell C. V., Galloway D. L., Hamilton C. R., Yancey J. W. S. 2009b. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid compositions. *J. Anim. Sci.* 87:1441-1454.
- Bauer E, Jakob S, Mosenthin R. 2005. Principles of Physiology of Lipid Digestion, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*.18:2, 282-295.
- Benz, J. M., Linneen S. K., Tokach M. D., Dritz S. S., Nelssen J. L., DeRouchey J. M., Goodband R. D., Sulabo R. C., and Prusa. K. J. 2010. Effects of dried distillers grains with solubles on carcass fat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:3666–3682.
- Benz J. M. Tokach M. D. Dritz S. S. Nelssen J. L. DeRouchey J. M. Sulabo R. C. Goodband R. D. 2011. Effects of choice white grease and soybean oil on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 89:2, 404–413.

- Benzie I. F. F., Strain J. J. 1996. The ferric reduction ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239:70-76.
- Braña D., Ramírez E., Rubio M., Sánchez A., Torrescano G., Arenas M., Partida J., Ponce E., Ríos F. 2011. Manual de análisis de calidad en muestras de carne. Folleto técnico No. 11. ISBN: 978-607-425-612-3.
- Browne N. A., Apple J. K, Bass B. E., Maxwell C. V., Yancey J. W. S., Johnson T. M., Galloway D. L. 2013. Alternating dietary fat sources for growing-finishing pigs fed dried distillers grains with solubles: I. Growth performance, pork carcass characteristics, and fatty acid composition of subcutaneous fat depots. *J. Anim. Sci.* 91:1493–1508. doi:10.2527/jas.2012-5528
- Cannon J.E., Morgan J.B., Heavner F.K., McKeith S., Meeker D. I. 1995. Pork quality audit: a review of the factors influencing pork quality. *Journal of Muscle Foods*. 6: 369–402.
- Castañeda S. E. O. 2001. Determinación de la relación optima de lisina : proteína para cerdos en crecimiento. (Tesis de maestría) UNAM, México.
- Cisneros F., Ellis M., Miller K. D., Novakofski J., Wilson E. R., McKeith F. K. 1996. Comparison of transverse and longitudinal real-time ultrasound scans for prediction of lean cut yields and fat free lean content in live pigs. *J. Anim. Sci.* 74:2566-2576
- Collin A., Vaz M. J., Dividich J. L. 2002. Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. *Reproduction Nutrition Development*. 42, 45–54.
- De la Llata M., Dritz S. S., Tokach M. D., Goodband R. D., Nelssen J. L., and Loughin T. M. 2001. Effects of dietary fat on growth performance and carcass characteristics of growing finishing pigs reared in a commercial environment. *J. Anim. Sci.* 79:2643–2650.
- De Smet S., Raes K., Demeyer D. 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research, EDP Sciences*. 2004, 53:2, pp.81-98.

- Deckelbaum R. J., Worgall T. S., Seo T. 2006. n-3 Fatty acids and gene expression. *Am J Clin Nutr*; 83:1520S-5S.
- Dunshea, F. R., Eason, P. J., King R. H., Campbell R. G. 1998. Interrelationships between dietary ractopamine, dietary energy and sex on protein and fat deposition in growing pigs. *Australian Journal of Agricultural Research*. 49:565-574.
- Dunshea, F. R., D'Souza D. N. 2003. A Review - Fat deposition and metabolism in the pig Pages 127-150 in *Proceedings of the Ninth Biennial Conference of the Australasian Pig Science Association (APSA)*, Fremantle, Australia.
- Eggert J. M., Belury M. A., Kempa-Steczko A., Mills S. E., Schinckel A. P. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on the belly firmness and fatty acid composition of genetically lean pigs. *J. Anim. Sci*. 79:2866-2872.
- Enser M., Richardson R. I., Wood J. D., Gill B. P., Sheard P. R. 2000. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork: fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages. *Meat Sci*, 55:2, 201-12.
- Guschina I., Harwood J. L. 2006. Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae. v *Progress in Lipid Research* 45 (2006) 160-186.
- Hamm R., 1975. "Water-holding Capacity of Meat", en *Meat*. D. J. Cole y R. A. Lawrie (compiladores), The Avi Publishing Co., Westport.
- Harper. *Bioquímica ilustrada* 28a edición. 2010. editorial McGRAW-HILL Interamericana Editores, S.A. de C.V., México.
- Hernandez B. J., Aquino J. L., Ríos F. G. 2013. Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *NACAMEH*. 7:41-64349.
- Hill R. A., Dunshea F. R., Dodson M. V. 2003. 'Growth of livestock'. In *Biology of Growth of Domestic Animals*. (C.G. Scanes ed.), Blackwell Publishers, UK. 342-364.
- Honikel KO. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci*; 49:447-457.
- Hunter Lab. 2001. *Principios básicos de medida y percepción de color*. Información técnica. Hunter Lab.

- Hyun Y., Ellis M., McKeith F. K., Baker D. H. 2003. Effect of dietary leucine level on growth performance, and carcass and meat quality in finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 83:315-318.
- Hyun Y., Kim J. D., Ellis M., Peterson B. A., Baker D. H., McKeith F. K. 2007. Effect of dietary leucine and lysine levels on intramuscular fat content in finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 87:303-306.
- Jiménez P., Masson L., Quitral V. 2013. Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Rev Chil Nutr Vol. 40, N°2*.
- Kellner T. A., Prusa K. J., Patience J. F. 2014. Impact of dietary fat source and concentration and daily fatty acid intake on the composition of carcass fat and iodine value sampled in three regions of the pork carcass. *J. Anim. Sci.* 92:5485–5495. doi:10.2527/jas.2014-7567
- King R. H., Campbell R. G., Smits R. J., Morley W. C., Ronnfeldt K., Butler K., Dunshea F. R. 2000. Interrelationships between dietary lysine, sex and porcine somatotropin administration on growth performance and protein deposition in pigs between 80 and 120kg liveweight. *Journal of Animal Science*,78:2639-2851
- Kouba M., Hermier D., Dividich L. J. 2001. Influence of high ambient temperature on lipid metabolism in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 79: 81-87.
- Lawrie R. A. 2006. *Meat Science*, 7ª Edición, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, FL, USA. pp 57-67,75-100,103-104,175-183, 345.
- Lee J. W., Kil D. Y., Keever B. D., Killefer J., McKeith F. K., Sulabo R. C., Stein H. H. 2013. Carcass fat quality of pigs is not improved by adding corn germ, beef tallow, palm kernel oil, or glycerol to finishing diets containing distillers dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:2426-2437.
- Leskanich C. O., Noble R. C. 1999. The comparative roles of polyunsaturated fatty acids in pig neonatal Development. *British Journal of Nutrition*. 81:87–106.

- Li Q., Patience J. F. 2017. Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs, *Animal Feed Science and Technology*, Volume 233, 2017.
- Lindahl G. 2005. Colour Characteristics of fresh pork. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Doctoral thesis.
- Meadus W. J., Duff P., Uttaro B., Lynn J., Rolland C., Gibson L., Dugan R. 2009. Production of Docosahexaenoic Acid (DHA) Enriched Bacon. *J. Agric. Food Chem.* 58:1. 465-472.
- Meadus W. J., Turner D. T., Dugan E. R., Aalhus M., Jennifer L., Duff P., Rolland D., Uttaro B., Gibson L. L. 2013. Fortification of pork loins with docosahexaenoic acid (DHA) and its effect on flavour. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4:46.
- Milgen J. V., Noblet J. 1999. Energy partitioning in growing pigs: the use of a multivariate model as an alternative for the factorial analysis, *Journal of Animal Science*, Volume 77, Issue 8, Pages 2154–2162.
- Miller M. F., Ahmed P. O., Shackelford S. D., Haydon K. D., Reagan J. O. 1993. Effects of Feeding Diets Containing Different Fat Supplements to Swine on the Visual Properties and Storage Stability of Low-fat Sausage* *Meat Science.* 33:231-244.
- Nelson D. L., Cox M. M. 2009. Lehninger. Principles of biochemistry, fifth edition, W.H Freeman and company, San Francisco, United States of America.
- Norma Mexicana NMX-F-152-SCFI-2011. Alimentos - aceites y grasas vegetales o animales - Determinación del índice de yodo por el método ciclohexano – Método de prueba (cancela a la NMX-F-152-SCFI-2005). Secretaría de Economía. 1-10.
- Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres.
- Norma Mexicana NMX-F-114-SCFI-2011. Alimentos-grasas y mantecas vegetales o animales. Determinación de punto de fusión. Método de prueba. Secretaría de economía; 2011:1-6.

- NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. National Academy Press, Washington, DC.
- Nürnberg K., Nürnberg G., Ender K., Lorenz S., Winkler K., Rickert R., Steinhart H. 2002. n-3 fatty acids and conjugated linoleic acids of longissimus muscle in beef cattle, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 104: 463–471.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana, Consulta de expertos.
- Palmquist D. L. 2009. Omega-3 Fatty Acids in Metabolism, Health, and Nutrition and for Modified Animal Product Foods. *The Professional Animal Scientist*, 25: 207-249.
- Park S. Y., Kim Y. J., Lee H. C., Yoo S. S., Shim J. H., Chin K. B. 2008. Effects of Pork Meat Cut and Packaging Type on Lipid Oxidation and Oxidative Products during Refrigerated Storage (8 °C). *Journal of Food Science*. 73: C127–C134.
- Pegg, R. B. 2001. Spectrophotometric Measurement of Secondary Lipid Oxidation Products. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. D: D2:D2.4.18.
- Peiretti P. G., Gai F. 2009. Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispánica* L.) seeds and plant during growth. *Animal Feed Science and Technology*. 148: 267–275.
- Pérez M. I., Larrea V., Quiles A., Lluch M. A. 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.
- Pettigrew J. E. 1981. Supplemental dietary fat for periparturient sow: A review. *J. Anim. Sci.* 53:107-117.
- Quiniou N., Dubois S., Noblet J. 2000. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science*. 63: 245–253.

- Rodríguez S., Belén M., Megías M., Baena S., Molina B. 2003. Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos?. *Revista Española de Salud Pública*. 77(3): 317-331.
- Rodríguez-Cruz M., Tovar A., R del Prado M., Torres. 2005. Molecular mechanisms of action and health benefits of polyunsaturated fatty acids. *Revista de investigación clínica*. 57(3), 457-472.
- Romans J. R., Johnson R. C., Wulf D. M., Libal G. W., Costello W. J. 1995. Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: I. Dietary level of flaxseed, *Journal of Animal Science*, Vol.73 (7), 1982–1986.
- Rosenthal A. J. 1999. Food texture measurement and perception. Maryland, USA: Aspen Publishers.
- Rosenvold K., Andersen H. J. 2002. Factors of significance for pork quality—a review. *Meat Science*. 64 219–237.
- Rossi R., Pastorelli G., Cannata S., Corino C. 2010. Recent advances in the use of fatty acids as supplements in pig diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*.
- Santos K. M., Watanabe P. H., Freitas E. R., Nepomuceno R. C., Oliveira P. J.D., Lima V. M., Rodrigues B. B.V., Do Nascimento G. A. J., De Carvalho L. E. 2017. Beef tallow and emulsifier in growing-finishing pig diets. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*..
- Sardi L., Martellia G., Lambertinib L., Parisinia P., Mordentia A. 2006. Effects of a dietary supplement of DHA-rich marine algae on Italian heavy pig production parameters. *Livestock Science*.103, 1-2, 95–103.
- Stephenson E. W., Vaughn M. A., Burnett D. D., Paulk C. B., Tokach M. D., Dritz S. S., DeRouchey J. M., Goodband R. D., Woodworth J. C., Gonzalez J. M. 2016. Influence of dietary fat source and feeding duration on finishing pig growth performance, carcass composition, and fat quality,, *Journal of Animal Science*, Volume 94, Issue 7, Pages 2851–2866.

- Stryer L. Biochemistry, 1975, W.H Freeman and company, San francisco, United States of America.
- Subczynski W. K., Pasenkiewicz-Gierula M., Widomska J., Mainali L., Raguz M. 2017. High cholesterol/low cholesterol: effects in biological membranes: a review. *Cell biochemistry and biophysic.* 75(3-4):369-385.
- Swanson D., Block R., Mousa S. A. 2012. Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA: Health Benefits Throughout Life¹. *Adv Nutr*, 3(1): 1–7.
- Valdés R. J. C. 2017. Impacto de la calidad de la grasa en la dieta de las cerdas reproductoras y sus consecuencias en producción. (Tesis de maestría) UNAM, México.
- Valenzuela B., Alfonso & Nieto M. S. 2001. Ácido docosahexaenoico (DHA) en el desarrollo fetal y en la nutrición materno-infantil. *Revista médica de Chile*, 129(10), 1203-1211.
- Vossen E., Raes K., Van Mullem D., De Smet S. 2016. Production of docosahexaenoic acid (DHA) enriched loin and dry cured ham from pigs fed algae: Nutritional and sensory quality. *J. Lipid Sci. Technol*, 118.
- Weber, T. E., Richert B. T., Belury M. A., Gu Y. Enright K., Schinckel A. P. 2006. Evaluation of the effects of dietary fat, conjugated linoleic acid, and ractopamine on growth performance, pork quality, and fatty acid profiles in genetically lean gilts. *J. Anim. Sci.* 84:720–732.
- Wilkinson S. J. Downing A. B., Thomson J. A. 2014. Dietary fatty acids affect the growth, body composition and performance of post-weaning gilt progeny . *Animal Production Science*, 54, 329 – 338.
- Whitney M. H., Shurson G. C. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of corn distiller's dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci*, 82(1), 22–128.
- Wood J. D., Nute G. R., Fursey G. A. J., Cuthbertson A. 1995. The effect of cooking conditions on the eating quality of pork. *Meat Science* 40,127-135.

- Wood J., Enser M. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, 78(1), S49-S60.