

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



**"ASOCIACIÓN LIPÍDICA CON EXPRESIÓN DE GENES EN CARNE OVINA
INFLUENCIADA POR DIFERENTES TIEMPOS Y NIVELES DE AGUACATE EN LA
DIETA"**



PEDRO DE JESÚS DENIZ GONZÁLEZ

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de
Maestría en Ciencias en el área de Ciencias Zootécnicas y Veterinarias**

Xalisco, Nayarit; diciembre de 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**



**"ASOCIACIÓN LIPÍDICA CON EXPRESIÓN DE GENES EN CARNE OVINA
INFLUENCIADA POR DIFERENTES TIEMPOS Y NIVELES DE AGUACATE EN LA
DIETA"**

**PRESENTA:
PEDRO DE JESÚS DENIZ GONZÁLEZ**

COMITÉ TUTORIAL:

**DIRECTOR: DR. JAVIER GERMÁN RODRÍGUEZ CARPENA
CODIRECTOR: DR. CLEMENTE LEMUS FLORES
ASESOR: M.C. JOB OSWALDO BUGARÍN PRADO
ASESOR: DRA. SILVIA HORTENCIA HERNÁNDEZ LÓPEZ
ASESOR: DRA. EN F. GABRIELA MARÍA ÁVILA VILLARREAL**

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de
Maestría en Ciencias en el área de Ciencias Zootécnicas y Veterinarias**

Xalisco, Nayarit; diciembre del 2018.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

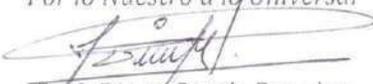
CBAP/267/18.

Xalisco, Nayarit; 10 de diciembre de 2018.

ING. JOSÉ ERNESTO VILLANUEVA TREJO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 22 de noviembre del presente, enviado por los CC. **Dr. Javier Germán Rodríguez Carpena**, **Dr. Clemente Lemus Flores**, **M.C. Job Oswaldo Bugarín Prado**, **Dra. Silvia Hortencia Hernández López** y **Dra. Gabriela María Ávila Villarreal**, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza al **C. MVZ. Pedro de Jesús Deniz González**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Zootécnicas y Veterinarias.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente

&mefm

CBAP/199/18.

Unidad Académica de Agricultura, Carretera Tepic-Compostela Km. 9, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit. Tels. (311)2-11-01-28 y 2-11-11-63 Posgrado (CBAP) 2-11-24 78.

Tepic, Nayarit; a 22 de noviembre de 2018

**DR. JUAN DIEGO GARCÍA PAREDES,
COORDINADOR DEL POSGRADO EN
CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS.
PRESENTE.**

Los suscritos integrantes del cuerpo tutorial de la tesis titulada "**ASOCIACIÓN LIPÍDICA CON EXPRESIÓN DE GENES EN CARNE OVINA INFLUENCIADA POR DIFERENTES TIEMPOS Y NIVELES DE AGUACATE EN LA DIETA**", que presenta el **M.V.Z. PEDRO DE JESÚS DENIZ GONZÁLEZ** para obtener el grado de Maestro en Ciencias con opción terminal en Ciencias Zootécnicas y Veterinarias, declaramos que la hemos revisado y determinamos que cumple con los requisitos y las condiciones necesarias, por lo que otorgamos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Dr. Javier Germán Rodríguez Carpena

Director

Dr. Clemente Lemus Flores

Co-Director

M.C. Job Oswaldo Bugarín Prado

Asesor

Dra. Silvia Hortencia Hernández López

Asesor

Dra. Gabriela María Ávila Villarreal

Asesor

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre † (qepd)

**y el resto de mi familia: Mi padre, mis hermanos: José, Lis y Toño; y mis
compañeros caninos.**

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de la presente investigación.

Al Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias y Pesqueras de la Universidad Autónoma de Nayarit, porque es la institución que me dio la oportunidad de iniciar mis estudios de posgrado y en todo momento apoyó este proyecto de investigación.

Al Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología de la UAN y al Departamento de producción animal perteneciente a la UdG por abrirme las puertas para la realización de mi presente proyecto. Con un agradecimiento especial a todos los integrantes de la Unidad Especializada en Calidad de Alimentos y Productos Naturales por todo el apoyo y tiempo prestado.

A todos los profesores que me impartieron clase durante mis estudios de maestría, por ser parte de mi formación académica y en muchas ocasiones también formación personal.

Al comité tutorial de mi proyecto de maestría: Dr. Javier Germán Rodríguez Carpena, Dr. Clemente Lemus Flores, M.C. Job Oswaldo Bugarín Prado, Dra. Silvia Hortencia Hernández López y Dra. Gabriela María Ávila Villarreal por compartir pacientemente sus conocimientos y por guiarme en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mi amigo y director de tesis German Rodríguez que se ha convertido en un ejemplo a seguir para mí, debido a su calidad personal y profesional. ¡Gracias Doctor por inculcarme el camino de la superación ¡

A Elena Luna, Gilberto Lemus, Edgar Salazar, Silvia Hernández y Leslie Gómez por ayudarme, acompañarme y ser parte de mí en académica y personalmente.

A todos los miembros de mi familia, por el cariño y apoyo incondicional que siempre me han dado.

ÍNDICE

	Pág.
Oficio de aprobación de tesis.....	ii
Oficio de conformidad del Comité Tutorial.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis.....	2
1.2 Objetivo general.....	2
1.2.1 Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Situación de la producción y consumo de la carne ovina.....	4
2.2 Uso de alimentos no convencionales en la alimentación animal.....	6
2.3 La carne y los productos cárnicos.....	7
2.3.1 Los lípidos en la carne y productos cárnicos.....	8
2.3.2 Composición de los lípidos en la carne y productos cárnicos.....	9
2.3.2.1 Composición de los lípidos en la carne ovina.....	12
2.3.3. Importancia de la grasa en la calidad de la carne y productos cárnicos.....	15
2.3.4. Estrategias para mejorar la calidad de la grasa en carne y productos cárnicos.....	19
2.3.5. Impacto de la oxidación en la carne y los productos cárnicos.....	21

2.3.6. Los antioxidantes en la carne y los productos cárnicos..	22
2.3.7. Estrategias para mejorar la composición antioxidante en carne y productos cárnicos.....	24
2.4 El aguacate.....	28
2.4.1. Situación de la producción y consumo del aguacate.....	30
2.4.2. El aguacate como alimento no convencional en la alimentación animal.....	31
2.5 Relación de la calidad de la carne y los productos cárnicos con la expresión de genes.....	33
2.6 Metabolismo ruminal y repercusión de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF-1 y SCD en el metabolismo de lípidos de los rumiantes.....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1 Ubicación del experimento.....	39
3.2 Diseño experimental.....	39
3.3 Alimento.....	40
3.3.1 Preparación de la harina de aguacate.....	40
3.3.2 Preparación de las dietas experimentales.....	41
3.3.3 Evaluaciones de las dietas experimentales.....	42
3.3.3.1. Análisis químico proximal de las dietas experimentales.....	42
3.3.3.2. Determinación de la cantidad de la grasa de las dietas experimentales.....	42
3.3.3.3. Determinación de la composición de la grasa de las dietas experimentales.....	44
3.3.3.4. Determinación de compuestos fenólicos de las dietas experimentales.....	45
3.3.3.5. Determinación de actividad total antioxidante de las dietas experimentales.....	46

3.4	Animales.....	48
3.5	Evaluaciones de las variables dependientes.....	48
3.5.1.	Toma de muestras.....	48
3.5.2.	Determinación de la cantidad y composición de lípidos de la carne.....	49
3.5.2.1.	Determinación de grasa total intramuscular.....	49
3.5.2.2.	Metilación básica de ácidos grasos.....	49
3.5.2.3.	Análisis del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.....	49
3.5.3.	Evaluación antioxidante de la carne.....	50
3.5.3.1.	Determinación de compuestos fenólicos totales.....	50
3.5.3.2.	Determinación de actividad total antioxidante.....	51
3.5.4.	Expresión de los genes PPARG, SCD, FASTN, ACACA, y SREBF1.....	51
3.5.4.1.	Purificación de ARN.....	51
3.5.4.2.	Síntesis de DNA complementario.....	52
3.5.4.3.	Análisis de reacción en cadena de la polimerasa...	52
3.5.4.3.1.	Elaboración de primers.....	52
3.5.4.3.2.	Optimización y estandarización de las condiciones de PCR.....	54
3.5.4.3.3.	Análisis de la expresión génica mediante PCR en tiempo real.....	54
3.5.4.3.4.	Análisis de los datos para la obtención de la expresión relativa de los genes.....	55
3.6	Análisis estadístico.....	56
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
4.1	Propiedades nutricionales y antioxidantes de las dietas utilizadas en la alimentación de ovinos en finalización.....	57
4.1.1.	Composición química de las dietas	

	experimentales.....	57
4.1.2.	Composición de los lípidos de las dietas experimentales.....	58
4.1.3.	Valor antioxidante de las dietas experimentales.....	61
4.1.3.1.	Cantidad de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante presente en las dietas experimentales.....	61
4.2	Efecto de la alimentación en el perfil de ácidos grasos y grasa total intramuscular de carne ovina proveniente del músculo <i>Longissimus dorsi</i>	62
4.3	Impacto de la alimentación en la cantidad de compuestos fenólicos y actividad total antioxidante de carne ovina proveniente del músculo <i>Longissimus dorsi</i>	67
4.4	Efecto de la alimentación en la expresión génica de ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> de ovinos alimentados con harina de aguacate en su etapa de finalización.....	69
V.	CONCLUSIONES	72
VI.	LITERATURA CITADA	73

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1.	Población ovina (millones de cabezas), producción de carne (millones de toneladas) y patrones de consumo (kg/cápita) en algunos países.....	5
Cuadro 2.	Principales ácidos grasos encontrados en carne proveniente de los animales de abasto.....	10
Cuadro 3.	Perfil de ácidos grasos de grasa intramuscular y grasa subcutánea ovina (% del total de metil esterres de ácidos grasos).....	13
Cuadro 4.	Efecto de la inclusión de antioxidantes naturales en la dieta en la oxidación lipídica comparada con una dieta control.....	26
Cuadro 5.	Efecto de la inclusión tecnológica de antioxidantes naturales en la oxidación lipídica y proteica de la carne.....	27
Cuadro 6.	Composición porcentual e ingredientes utilizados en las dietas experimentales, utilizando diferentes niveles de harina de aguacate.....	42
Cuadro 7.	Genes y secuencia de los primers empleados en el ensayo de expresión relativa de los genes que participan en distintas rutas del metabolismo de lípidos.....	53
Cuadro 8.	Composición química proximal de las dietas experimentales (control, 0%, 2.5% y 10% de inclusión de harina de aguacate).....	58
Cuadro 9.	Perfil lipídico de las dietas experimentales con diferentes inclusiones de harina de aguacate (control, 0%, 2.5% y 10% de inclusión de harina de aguacate)	59

Cuadro 10.	Determinación de compuestos fenólicos totales y su actividad antioxidante de las dietas experimentales (control, 0%, 2.5% y 10% de inclusión de harina de aguacate).....	62
Cuadro 11.	Porcentaje de grasa intramuscular y perfil de ácidos grasos de carne proveniente del musculo <i>Longissimus dorsi</i> en ovinos alimentados con diferentes tiempos e inclusiones de harina de aguacate.....	64
Cuadro 12.	Cantidad de compuestos fenólicos y actividad total antioxidante en carne proveniente del músculo <i>Longissimis dorsi</i> de ovinos en etapa de finalización con diferentes tiempos e inclusiones de harina de aguacate en su etapa de finalización.....	68
Cuadro 13.	Ratios de expresión relativa de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> de ovinos alimentados con diferentes tiempos y niveles de harina de aguacate en su dieta.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Esquema de un triglicérido con diferentes ácidos grasos según el grado de saturación.....	11
Figura 2. Interacción entre la iniciación oxidativa y el potencial de los antioxidantes naturales en la prevención de la oxidación de la carne.....	25
Figura 3. Rutas principales de la biohidrogenación del ácido linoléico y α -linolénico en el rumen, junto con los microorganismos implicados.	35
Figura 4. Esquema del diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3 X 3 más un tratamiento adicional (control).....	40

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la carne ovina ocupa el cuarto lugar en consumo de proteína animal (FAO, 2016). En México, hay reportes de que la producción de carne ovina no ha abastecido su consumo en los últimos años (Partida *et al.*, 2013). Por este motivo se prevé que la producción nacional de carne ovina aumente y se utilicen estrategias que promuevan dicho aumento de producción. La utilización de materiales de desecho como ingredientes en la alimentación animal es una opción que puede favorecer la producción debido a la reducción de costos, sin comprometer el rendimiento productivo del animal (Hernández *et al.*, 2016).

La carne es el producto pecuario de mayor importancia nutricional (FAO, 2016), debido a que posee proteínas que contienen aminoácidos esenciales, así como vitaminas y minerales de alta biodisponibilidad para la nutrición humana. Sin embargo, el alto contenido de ácidos grasos saturados, principalmente en carnes rojas y la presencia de productos de oxidación de lípidos y proteínas de la carne, han sido asociados con enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, cáncer y diabetes tipo II. Esto ha provocado el interés de modificar la composición antioxidante y el perfil lipídico de la carne, utilizando diferentes estrategias, como la manipulación de la dieta de animales de producción (De Smet and Vossen, 2016; Wood *et al.*, 2004).

El estado de Nayarit ocupa el cuarto lugar de producción de aguacate “Hass” a nivel nacional (SIAP-SAGARPA, 2017). Respecto a este fruto, se reconoce su capacidad como fuente de compuestos fenólicos y tocoferoles que actúan como antioxidantes a nivel molecular, también la pulpa contiene alto contenido de ácido oleico, al cual se le han atribuido propiedades saludables cardiovascularmente (Rodríguez, 2011). Por otro lado, durante la selección de frutos aptos para la venta, se generan grandes cantidades de aguacates que no cumplen con los estándares para el consumo humano y que son

desechados. Estos son frutos que conservan todas sus propiedades, por lo que todos estos, pudieran ser utilizados y aprovechados en la alimentación animal (Hernández, 2016).

Se sugiere que los cambios en el perfil de ácidos grasos de la carne atribuidos a los sistemas de alimentación provoca cambios en la expresión de algunos genes implicados en el metabolismo de lípidos a nivel de ácidos ribonucleicos mensajeros (mARN) (Dervishi *et al.*, 2011).

En el presente trabajo se estudiará el efecto de la inclusión de harina de aguacate en diferentes tiempos y niveles en la dieta de ovinos, sobre la composición antioxidante y la expresión de algunos genes del metabolismo de lípidos en el músculo *Longissimus dorsi* de borregos pelibuey-kathadin, con la finalidad de generar información sobre que genes se pueden modular a través del sistema de alimentación para obtener carne con un perfil lipídico de mayor calidad para la alimentación humana.

1.1. Hipótesis.

La adición de diferentes niveles de harina de aguacate en la dieta de ovinos en etapa de finalización durante distintos tiempos previo al sacrificio, modificará la composición lipídica y antioxidante de la carne, así como la expresión de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD manifestando una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados y compuestos con actividad antioxidante en el músculo *Longissimus dorsi*.

1.2. Objetivo general.

Evaluar el efecto de la adición de distintos niveles de harina de aguacate en la dieta de ovinos en etapa de finalización durante diferentes tiempos previo al sacrificio sobre la composición lipídica, composición antioxidante y expresión

de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD en carne proveniente del musculo *Longissimus dorsi*.

1.2.1. Objetivos específicos.

- Definir el efecto de la inclusión de harina de aguacate sobre la composición lipídica y antioxidante de las dietas experimentales.
- Valorar el efecto de la inclusión de harina de aguacate en la alimentación ovina sobre la cantidad y composición de los lípidos intramusculares de carne ovina.
- Determinar el efecto de la harina de aguacate como ingrediente en la alimentación ovina sobre la composición y actividad antioxidante de carne ovina.
- Evaluar el efecto de la inclusión de harina de aguacate en la alimentación ovina en la expresión de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Situación de la producción y consumo de la carne ovina.

A través de la historia, las aves de corral han proporcionado carne y huevo, el ganado vacuno, ovino y caprino ha suministrado carne y leche, y los cerdos han sido una fuente de carne. En general, estas especies constituyen la mayor fuente de proteína animal para los seres humanos. A nivel mundial, la carne de ovino ocupa el cuarto lugar dentro del consumo de proteína animal, representando aproximadamente el 5% del consumo mundial de cárnicos. Las razones por las cuales la carne ovina ocupa este lugar son los altos precios de esta carne en la mayoría de los países, la preferencia de los consumidores por otras fuentes de proteína y la asociación de las carnes rojas con aspectos negativos en la salud (FAO, 2016; Chikwanha *et al.*, 2018).

La producción de carne ovina está ampliamente distribuida a través de todo el mundo con una población de 1.2 billones de cabezas hasta el año 2014. Los continentes que contienen las mayores poblaciones de ovinos son el asiático (44.9%) y el africano (28.5%). Los países que lideran la producción de carne ovina son China (16%), Australia (6%), India (5%), Irán (4%) y Nigeria, Sudan y Turquía con 3% cada uno según se aprecia en el cuadro 1. En el año 2015 la producción de carne ovina alcanzó las 8.9 millones de toneladas, siendo China el país con mayor producción. En promedio ese mismo año, el consumo global *per cápita* de carne ovina fue de 1.7 kg. Es importante saber que el consumo *per cápita* tuvo variaciones según la región geográfica, por ejemplo, Norteamérica tuvo un consumo de 0.7 Kg por 17 Kg de Oceanía. China es el principal consumidor de carne ovina (46 % de la producción global), seguido de la India (27%) (cuadro 1). Respecto a la exportación de carne ovina, Australia y Nueva Zelanda tienen el título de ser los principales a nivel mundial (Chikwanha *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Población ovina (millones de cabezas), producción de carne (millones de toneladas) y patrones de consumo (kg/cápita) en algunos países.

País	Población	Producción cárnica	Consumo
Argelia	27807	291	7.1
Argentina	14534	60	1.2
Australia	72612	721	8.1
Brasil	17614	86	0.4
Canadá	874	20	0.9
China	194927	2184	2.9
Etiopía	29332	88	1.3
India	63000	235	0.5
Indonesia	16091	44	0.4
Irán	45000	148	3.3
Israel	574	10	1.9
Italia	7166	25	1.1
Japón	13	2	0.1
Kazajistán	15198	139	8.1
México	8576	58	0.5
Nueva Zelanda	29803	487	2.4
Nigeria	41327	139	2.1
Pakistán	29095	164	2.1
Paraguay	472	3	0.5
Perú	12388	34	1.2
Rumania	9136	68	3
Rusia	22247	186	1.1
Arabia Saudita	11650	102	5.5
Sudáfrica	24123	184	3.1
España	15431	114	1.7
Sudan	39846	251	10.7
Turquía	31100	313	4.1
Reino Unido	33743	298	1.8
Uruguay	7427	14	4.4
Estados Unidos	5245	72	0.4

Fuente: Chikwanha *et al.* (2018).

A nivel nacional, a pesar de que México ha ido avanzando en mejorar su productividad, sólo ha generado el 70% de la carne ovina que consume en los últimos años (Partida *et al.*, 2017). Los estados con mayor producción de carne

ovina son el estado de México (14.86%), Hidalgo (11.34%), Veracruz (8.34%), Zacatecas (7.31%) y Puebla (6.92). El estado de Nayarit tiene una producción de 222.95 toneladas, ocupando el 0.36% de la producción nacional. Dentro del estado de Nayarit, los municipios que abarcan la mayor producción de carne ovina son Tepic (17.49%), Santiago Ixcuintla (13.80%), Tecuala (10.40%), Rosamorada (10.29%) y San Blas (8.32%) (SIAP-SAGARPA, 2018).

Generalmente, la carne ovina es un producto poco consumido en México, durante los últimos 25 años el consumo nacional aparente ha variado entre 500 y 950 g por año/*per cápita*. El consumo de carne de ovino en México casi en su totalidad (95%) es a través del alimento típico llamado barbacoa principalmente en 13 estados (Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Veracruz, Yucatán, Quintana Roo y Baja California Sur), también se consume al ataúd/asado en Nayarit, Durango, Zacatecas, Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, en Chihuahua se consume el borrego al horno y en Sonora, Sinaloa, Jalisco y Aguascalientes en forma de birria (Partida *et al.*, 2017; Delgado, 2017).

Globalmente, se espera un crecimiento del 2.1% de la producción de carne ovina, debido a grandes contribuciones de países como China, Pakistán, Sudan y Australia. El crecimiento de la producción del ganado ovino que se pronostica, es consecuencia del crecimiento poblacional, urbanización y el aumento de los ingresos. Sin embargo, en países desarrollados la producción ovina se ha estancado, debido a que el ganado bovino es la principal especie de pastoreo y la vinculación de problemas de salud pública con el consumo de carne proveniente de rumiantes (Chikwanha *et al.*, 2018).

2.2. Uso de alimentos no convencionales en la alimentación animal.

Los altos costos y poca viabilidad de los alimentos convencionales para la alimentación de los animales de producción, generan la necesidad de la

consideración de subproductos industriales y agrícolas como alimentos no convencionales a pesar de que la eficiencia y utilización biológica de algunos pueda ser poca. El uso apropiado de subproductos agroindustriales de bajo costo, es de suma importancia para la obtención de una producción de alimentos de origen animal rentable, adicionalmente garantiza la salud animal y el cuidado ambiental debido a que estos subproductos son potenciales contaminantes. El uso eficiente de los alimentos no convencionales se basa en sus propiedades físicas y químicas, debido a que estas influyen en el producto final del sistema de producción. Por lo tanto, los estudios para evaluar potenciales subproductos agroindustriales en la alimentación de animales de producción son esenciales en la actualidad (Molina-Alcaide and Yáñez-Ruiz, 2008; Negesse *et al.*, 2009; Hernández-López *et al.*, 2016).

2.3. La carne y los productos cárnicos.

La calidad de la carne es el resultado de la transformación del tejido muscular, nervioso, adiposo y conjuntivo perteneciente a los músculos esqueléticos, lisos y cardíacos de los animales de abasto a través de una serie de procesos físico-químicos y biológicos que suceden tras la muerte del animal (Cambero *et al.*, 2005). Es importante mencionar que, en términos de conversión a carne, los músculos esqueléticos son el tipo de tejido más importante debido a la mayor proporción de estos en la canal y al valor económico de estos (Guo and Greaser, 2017).

La carne fresca se define como aquella que solo ha sido cortada y enfriada en canales o cortes. Por otro lado, la carne procesada o producto cárnico se define como toda aquella en donde alguna de sus propiedades de frescura ha sido modificada mediante procesos de molido, adición de condimentos, alteración de color o tratamientos térmicos que contribuyen a la preservación, apariencia, palatabilidad y diversidad de estos productos (Aberle *et al.*, 2001).

Los componentes mayoritarios de la carne son agua (65-80%) y proteínas (16-22%), las cuales contienen aminoácidos esenciales para la nutrición humana como isoleucina, valina, lisina, fenilalanina y valina. Otro componente nutricional de importancia son los lípidos (3-13%). La carne también contiene en menor proporción sustancias nitrogenadas no proteicas, glucógeno, vitaminas A, D y del complejo B, ácido láctico y minerales como hierro, fosforo, potasio, sodio y zinc (Cambero *et al.*, 2005; Rubio *et al.*, 2013). Por tal razón, la carne es un alimento altamente nutritivo que proporciona proteínas de alta calidad, minerales, vitaminas y muchos otros micronutrientes (Baltic and Boskovic, 2015, Jiang and Xiong, 2016).

2.3.1. Los lípidos en la carne y productos cárnicos.

Los lípidos son un grupo de compuestos orgánicos con estructura química muy variada, que comparten la característica de ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos. Este grupo de compuestos orgánicos se clasifica como grasas cuando son sólidas, o aceites cuando son líquidas en función de su estado físico a temperatura ambiente (Rodríguez, 2011).

Los lípidos pueden encontrarse en distintas localizaciones dentro de la canal de los animales de abasto, destacando los depósitos del tejido graso subcutáneo, la grasa intermuscular y la grasa intramuscular, en donde los lípidos pueden encontrarse formando parte de la membrana celular, en forma de vacuolas intracelulares o bien dispuestos entre las fibras musculares (Lawrie, 1998).

La cantidad de lípidos en la carne y productos cárnicos varía en función de varios factores: especie, raza, edad, sexo, estado sexual y alimentación del animal, estación del año, ejercicio y región anatómica del animal. En los productos cárnicos el principal factor es la formulación de cada producto cárnico (Wood *et al.*, 2008; Rodríguez, 2011).

2.3.2. Composición de los lípidos en la carne y productos cárnicos.

Los lípidos de la carne están constituidos mayoritariamente por lípidos neutros y lípidos polares. Los lípidos neutros se subdividen en monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos, siendo estos últimos los más abundantes de los lípidos de la carne, ocupando una proporción entre el 62 y 80% del total de los lípidos musculares. Los triglicéridos se encuentran principalmente almacenados en vacuolas lipídicas en el interior de los adipocitos constituyendo los depósitos de grasa del tejido adiposo o de la grasa inter- e intramuscular (Antequera and Martín, 2001). También se incluyen minoritariamente dentro de los lípidos neutros otros compuestos, entre los que destacan los esteroides, tocoferoles y carotenos (Martín, 2002; Petró, 2002). Por su parte, los lípidos polares presentes en la carne están constituidos principalmente por fosfolípidos, entre los que destacan la fosfatidilcolina, la fosfatidiletanolamina, la fosfatidilserina, la fosfatidilinositol y la cardiolipina, ocupando entre el 16 y 34% del total de los lípidos musculares (Leseigneur-Meynier and Gandemer, 1991). Éstos lípidos polares se encuentran formando parte de las membranas celulares, junto con el colesterol y los tocoferoles principalmente (Rodríguez, 2011).

Los ácidos grasos son los componentes mayoritarios de los triglicéridos y fosfolípidos y están compuestos de cadenas hidrocarbonadas lineales de una longitud de 4 hasta 24 átomos de carbono, teniendo en su extremo un grupo carboxilo (COOH). La mayoría de los ácidos grasos de la carne y productos cárnicos presentan una saturación de hidrógenos, como consecuencia de los mecanismos de biosíntesis celular que adiciona dos átomos de carbono a un tiempo. Aunque también existen en menor porcentaje, algunos ácidos grasos insaturados por acción de enzimas desaturasas (Hernández and Sastre, 1999). En el cuadro 2 se muestran los principales ácidos grasos encontrados en carne proveniente del tejido muscular de los animales de abasto (Rodríguez, 2011).

Cuadro 2. Principales ácidos grasos encontrados en carne proveniente de los animales de abasto.

Nombre sistemático	Nombre común	Notación Delta	Notación Omega
Ác. Hexanoico	Ác. Caproico	C6:0	
Ác. Octanoico	Ác. Caprílico	C8:0	
Ác. Decanoico	Ác. Cáprico	C10:0	
Ác. Dodecanoico	Ác. Laúrico	C12:0	
Ác. Tetradecanoico	Ác. Mirístico	C14:0	
Ác. Hexadecanoico	Ác. Palmítico	C16:0	
Ác. cis-9-Hexadecenoico	Ác. Palmitoleico	C16:1	C16:1 n-7
Ác. Heptadecanoico	Ác. Margárico	C17:0	
Ác. cis-7-Heptadecenoico	Ác. Margaroleico	C17:1	C17:1 n-7
Ác. Octadecanoico	Ác. Estearico	C18:0	
Ác. cis-9-Octadecenoico	Ác. Oleico	C18:1	C18:1 n-9
Ác. trans-11-Octadecenoico	Ác. Vaccénico	C18:1	C18:1 n-7
Ác. cis-9,12-Octadecenoico	Ác. Linoleico	C18:2	C18:2 n-6
Ác. cis-9,12,15-Octadecenoico	Ác. Linolénico	C18:3	C18:3 n-3
Ác. Eicosanoico	Ác. Araquídico	C20:0	
Ác. cis-5,8,11,14-Eicosatetraenoico	Ác. Araquidónico	C20:4	C20:4 n-6
Ác. cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoico	EPA	C20:5	C20:5 n-3
Ác. Docosanoico	Ác. Behénico	C22:0	
Ác. cis-13-Docosenoico	Ác. Erúxico	C22:1	C22:1 n-9
Ác. cis-7,10,13,16,19-Docosenoico	Ác. Clupanodónico	C22:5	C22:5 n-3
Ác. cis-4,7,10,13,16,19- Docosahexaenoico	DHA	C22:6	C22:6 n-3
Ác. Tetracosanoico	Ác. Lignocérico	C24:0	
Ác. cis-15-Tetracosenoico	Ác. Nervónico	C24:1	C24:1 n-9

Ac= Ácido. Fuente: Rodríguez *et al.* (2011).

En función del grado de saturación o de la presencia o no de dobles enlaces en su molécula de la cadena hidrocarbonada, los ácidos grasos se clasifican en saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI). Así, los AGS carecen de dobles enlaces, los AGMI tiene un doble enlace y los AGPI puede tener dos o más dobles enlaces (Figura 1). Los ácidos grasos no suelen encontrarse en la naturaleza como tales, sino que forman parte de los triglicéridos, fosfolípidos o ésteres de esteroides (Jensen, 1995) una excepción a este hecho son los productos cárnicos de larga curación, en donde los ácidos grasos libres se acumulan en cantidades significativas como consecuencia de

la acción de las lipasas. En los triglicéridos los ácidos grasos están esterificados en un número de tres a una molécula de glicerol (Figura 1), mientras que en los fosfolípidos la molécula de glicerol tiene dos ácidos grasos esterificados en la posición 1 y 2 y un grupo fosfato en la posición 3 (Rodríguez, 2011).

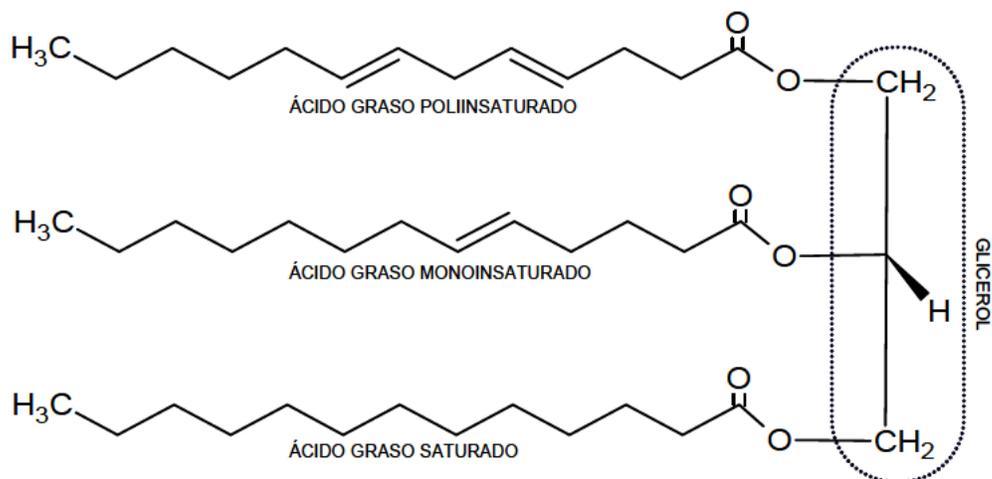


Figura 1. Esquema de un triglicérido con diferentes ácidos grasos según el grado de saturación. Adaptada: Rodríguez, (2011).

La proporción de cada uno de estos grupos de ácidos grasos varía en función de la especie o raza, tipo de músculo, nivel de grasa en la carne o el tipo de alimentación recibida por el animal (Price and Schweigert, 1994).

Los AGS (30-50%) y los AGMI (40- 50%) son los grupos mayoritarios de ácidos grasos en el tejido muscular y adiposo de los animales de abasto, seguido de los AGPI, que constituyen un 5-20% del total. Los AGS mayoritarios en la carne son el ácido palmítico (C16:0), el esteárico (C18:0) y en una menor cantidad el ácido mirístico (C14:0). Dentro de los ácidos grasos insaturados (AGI), la proporción mayoritaria pertenece al ácido oleico (C18:1 n-9) (~40-50%). En relación a los AGPI, existen principalmente dos grupos de ácidos grasos agrupados según la notación bioquímica "omega": los ácidos grasos de las

series omega-3 (n-3 o ω -3) y omega-6 (n-6 o ω -6), entre los cuales destacan el ácido linoleico (C18:2 n-6) y el ácido araquidónico (C20:4 n-6) dentro de la serie omega-6, y los ácidos grasos linolénico (C18:3 n-3), eicosapentanoico (C20:5 n-3, EPA) y docosahexanoico (C22:6 n-3, DHA) dentro de la serie omega-3. Esta subdivisión de los AGPI es de gran importancia a nivel bioquímico y nutricional, por tratarse en ambos casos de ácidos grasos esenciales (Rodríguez, 2011).

2.3.2.1. Composición de los lípidos en la carne ovina.

En los animales rumiantes, los ácidos grasos contenidos en los alimentos son convertidos a AGS y AGMI en el rumen debido a la biohidrogenación microbiana. Aproximadamente solo un 10 % de los AGPI (por ejemplo, 18:2n - 6) contenidos en el alimento está disponible para la incorporación en el tejido del animal (Wood *et al.*, 2008).

La composición de los ácidos grasos de la carne ovina es afectada por la interacción de múltiples factores como la raza, edad, peso al sacrificio y los cambios en el sistema de producción, ya que todo lo anterior puede modificar el ambiente ruminal y el proceso de biohidrogenación de ácidos grasos provenientes de la dieta (D'Alessandro *et al.*, 2015; Bravo-Lamas *et al.*, 2018).

Los AGS ocupan entre 45% y 50% del total de los ácidos grasos presentes en la carne ovina y los ácidos grasos que predominan en cantidad dentro de este grupo son 16:0, 18:0 y 14:0 respectivamente (Cuadro 3) (Wood *et al.*, 2008; Chikwanha *et al.*, 2018). La carne ovina también es considerada por ser una de las fuentes más importantes de ácidos grasos de cadena ramificada, Los ácidos grasos de cadena ramificada son primariamente AGS con al menos una ramificación de un grupo metil a lo largo de la cadena carbonada. Estos se

encuentran en una proporción de menos del 2% (Cuadro 3) del total de ácidos grasos (Chikwanha *et al.*, 2018).

Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos de grasa intramuscular y grasa subcutánea ovina (% del total de metil ésteres de ácidos grasos).

Ácido graso	Tejido muscular	Tejido adiposo
22:6n-3	0.15 ± 0.05	0.046 ± 0.01
22:5n-3	0.52 ± 0.14	0.14 ± 0.01
20:5n-3	0.45 ± 0.13	0.036 ± 0.03
18:3n-3	1.37 ± 0.48	0.695 ± 0.07
∑ n-3 AGPI	2.49 ± 0.99	0.92 ± 0.08
c9,t11,c15- 18:3	0.37 ± 0.06	0.11 ± 0.01
20:4n-6	0.64 ± 0.23	0.1 ± 0.01
18:2n-6	2.70 ± 0.86	1.85 ± 0.13
∑ n-6 AGPI	3.34 ± 1.28	1.95 ± 0.14
c9,t11-18:2	1.03 ± 0.46	0.65 ± 0.20
∑ CLA	10.3 ± 5.2c	1.44 ± 0.14
t11-18:1	1.05 ± 0.17b	2.39 ± 0.3
∑ trans 18	4.67 ± 1.67	6.18 ± 2.38
∑ trans AGMI	6.2 ± 1.79a	4.81 ± 0.39
c9-18:1	32.5 ± 3.25	31.7 ± 1.13
c9-16:1	2.20 ± 0.26	2.12 ± 0.09
∑ cis AGMI	32.5 ± 4.83 a	35.0 ± 1.17
∑ AGCR	1.9 ± 0.4a	3.52 ± 0.11
c18:0	18.1 ± 2.80	14.5 ± 1.01
c16:0	22.2 ± 1.56	24.3 ± 0.66
c14:0	3.30 ± 1.07	8.51 ± 0.49
c12:0	0.31 ± 0.18	0.11 ± 0.11
∑ AGS	48.3 ± 2.09a	42.9 ± 1.04
∑ Grasa (g/ 100 g de músculo)	4.9	70.57

AGPI= ácidos grasos poliinsaturados, CLA= Ácido linoleico conjugado, AGMI= Ácidos grasos monoinsaturados, AGCR= Ácidos grasos de cadena ramificada, AGS= Ácidos grasos saturados. Fuente: Chikwanha *et al.* (2018).

El ácido graso cis monoinsaturado más abundante en la carne ovina es el ácido oleico (c9-18:1). Este contribuye con una proporción de 25 a 40% del total de los ácidos grasos (Cuadro 3). El segundo ácido graso cis monoinsaturado de mayor abundancia es el ácido palmitoleico (c9-16:1), ocupando de 1.3 a 2.4% del total de los ácidos grasos (Cuadro 3). Por otro lado, de los isómeros trans-18:1, el ácido vaccenico se ha encontrado en mayor proporción en la carne ovina ocupando menos del 3% del contenido de ácidos grasos. Se ha observado que puede presentarse un cambio en la presencia de ácido vaccenico (t10-18:1) en el perfil de la carne ovina, cuando los animales son alimentados con dietas a base de granos, e incluso este cambio se puede exacerbar si se le combina en la alimentación una fuente de ácidos grasos poliinsaturados (Chikwanha *et al.*, 2018).

La carne proveniente de animales rumiantes contiene pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados debido a la biohidrogenación ruminal, la cual disminuye el flujo de salida ruminal de los ácidos grasos provenientes de la dieta y su posterior absorción en el intestino delgado (Chikwanha *et al.*, 2018).

El ácido linoleico (18:2n-6) es el ácido graso poliinsaturado con más altas proporciones en los tejidos de los rumiantes (Cuadro 3), este ácido graso es incorporado a los tejidos únicamente a través de la dieta con alimentos concentrados y forrajes de los animales. El segundo ácido graso poliinsaturado más importante en la carne proveniente de animales rumiantes es el ácido α -linolénico, este ácido graso se encuentra en los ingredientes de alimentos concentrados y principalmente en forrajes, en los cuales llega a constituir el 50% del total de ácidos grasos (Wood *et al.*, 2008). Se ha determinado que una proporción variable (85-100%) de ácido α -linolénico proveniente de la dieta es biohidrogenado, este porcentaje es mayor al que presenta el ácido linoleico, el cual presenta una biohidrogenación del 70 al 95%. Por lo tanto, el ácido α -linolénico tiene menor disponibilidad que el ácido linoleico para incorporarse a los tejidos (Doreau and Ferlay, 1994).

La carne proveniente de los rumiantes se caracteriza por incorporar ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (n-3) en los fosfolípidos. Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga son formados a partir de los ácidos linoleico y α -linolénico por la acción de enzimas como la $\Delta 5$ desaturasa, $\Delta 6$ desaturasa y elongasa. Dentro de los productos importantes de estas enzimas, está el ácido eicosapentanoico, el ácido docosahexanoico y el ácido docosapentanoico que se encuentra principalmente en el hígado bovino y ovino, considerándose las fuentes más ricas de ácido docosapentanoico (DPA, 22:5) conteniendo 140 mg DPA/ 100g de porción. La carne magra ovina y bovina contienen en promedio 20-30 mg / 100 g de porción (Wood *et al.*, 2008).

A pesar de los aspectos negativos de la biohidrogenación ruminal, esta contribuye a la acumulación de intermediarios de la biohidrogenación de AGPI, como los isómeros pertenecientes al ácido linoleico conjugado a los cuales se les han atribuido propiedades benéficas para la salud del ser humano, dentro de los 28 isómeros reportados, destaca el ácido ruménico (cis9, trans11-18:2) (Cuadro 3), el cual es precursor del ácido vaccénico (trans11-18:1) (Wood *et al.*, 2008; Chikwanha *et al.*, 2018).

La proporción de ácidos grasos poliinsaturados se presenta en mayor cantidad en la grasa intramuscular que en el tejido adiposo de los rumiantes (Wood *et al.*, 2008).

2.3.3. Importancia de la grasa en la calidad de la carne y productos cárnicos.

La composición y cantidad de la grasa son factores importantes que repercuten en la calidad de la carne y los productos cárnicos. La grasa intramuscular juega un papel determinante en características sensoriales, nutricionales y en

aspectos relacionados con la tecnología de procesamiento de la carne y productos cárnicos (Ventanas *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista de las características sensoriales, la grasa juega un papel importante sobre la jugosidad sostenida de la carne, ya que durante la masticación estimula la secreción de saliva, tanto de forma directa o como consecuencia de la liberación de compuestos aromáticos presentes en la grasa (Dikeman,1987). La jugosidad sostenida se logra con la presencia moderada (3-4%) de grasa intramuscular. También en cuanto al aspecto visual de la carne y los productos cárnicos, este está condicionado por el contenido y tamaño de vetas que conforman la grasa intramuscular o de infiltración (German, 1990). Otro atributo que se relaciona con el aspecto de la carne es el brillo de la superficie al corte. Este brillo se debe a la fluidificación de la grasa a temperatura ambiente como consecuencia de su bajo punto de fusión, que a su vez está determinado por el número de insaturaciones en los ácidos grasos (Davenel *et al.*,1999). Adicionalmente los lípidos son importantes precursores de un gran número de compuestos volátiles de bajo peso molecular que repercuten en el sabor y olor de productos cárnicos curados (Ruiz *et al.*, 2002; Hernández, 2016).

Desde el punto de vista de la calidad tecnológica de la carne y productos cárnicos, la grasa intramuscular tiene un impacto en el grado de penetración de la sal, aditivos o especias al interior del producto. Este efecto se genera como consecuencia del menor coeficiente de difusividad tanto del agua como de la sal en la grasa en relación al tejido magro (Palumbo *et al.*,1977). El grado de insaturación de las grasas también repercute sobre la calidad tecnológica de la carne y los productos cárnicos, debido a que los ácidos grasos polisaturados son más susceptibles a deteriorarse después de la manipulación de la carne (picado, molido, etc.), lo cual ocasiona oxidación excesiva con aparición de sabor, coloración y olor anómalo en la carne (Wood *et al.*, 2008; Hernández, 2016).

Nutricionalmente los lípidos tienen la propiedad de ser la mayor fuente de energía para el cuerpo humano. Los ácidos grasos presentes en los lípidos también tienen otros roles biológicos importantes para la salud, como la regulación de la estructura y función de las membranas celulares, regulación de las vías de señalización intracelular, actividad de los factores de transcripción, regulación de la expresión de genes y regulación de la producción de mediadores lipídicos bioactivos. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que los diferentes grupos de ácidos grasos (AGS, AGMI, AGPI, etc.) presentan diferentes efectos y acciones en la salud del ser humano (Chikwanha *et al.*, 2018).

Los ácidos grasos saturados de cadena ramificada son asociados a propiedades anticarcinogénicas y antiinflamatorias en el intestino, así como a cambios en la microbiota intestinal y aumento de la expresión de citosinas antiinflamatorias en modelos animales. Por otro lado, existe evidencia de que los AGS con una longitud de cadena de 12 a 16 carbonos aumentan las concentraciones de colesterol total y lipoproteínas de alta densidad y también modifican los procesos de coagulación, inflamación y resistencia a la insulina en humanos. Por esa razón, el alto consumo de grasas ricas en AGS se asocian con altos riesgos de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2. Sin embargo, interesantemente un aumento en el consumo de ácido esteárico presenta un efecto neutral o incluso protector en contra de enfermedades cardiovasculares. También los ácidos grasos saturados de cadena larga (> 22 átomos de carbono) se han asociado con un bajo riesgo de diabetes (Chikwanha *et al.*, 2018).

En cuanto al impacto de los cis-AGMI, existe evidencia de que el consumo de estos no implica riesgo de presencia de enfermedades cardiovasculares. Incluso no se han reportado efectos dañinos al consumir dietas con grandes cantidades de cis-AGMI. Algunos estudios sugieren que el consumo de ácido

oleico está asociado con efectos benéficos en la prevención de cáncer y en enfermedades autoinmunes e inflamatorias. Por otro lado, el papel que juega el consumo de los trans-AGMI derivados del metabolismo ruminal en el desarrollo de enfermedades crónicas es poco claro. Sin embargo, el ácido vaccénico reduce los valores de triglicéridos y células del metabolismo tumoral en plasma, también se ha observado que aumenta la respuesta inmune en cultivos celulares y modelos animales (Chikwanha *et al.*, 2018).

Referente a los AGPI, los AGPI n-3 probablemente han recibido mayor atención durante los últimos años debido a su contribución con la salud y bienestar del ser humano. El ácido α -linolénico es un ácido graso esencial para el ser humano y es el de mayor importancia dentro de los AGPI n-3 debido a que es precursor de los ácidos eicosapentanoico, docosapentanoico y docosahexanoico. Respecto al ácidos docosahexanoico y eicosapentanoicos, estos tienen una amplia gama de acciones biológicas como la participación en la integridad de las membranas celulares, señales de transducción, expresión de genes y forman parte de los lípidos que muestran un rol preventivo para enfermedades cardiovasculares, metabólicas, inflamatorias y oncológicas. El ácido docosahexanoico también se ha relacionado con el desarrollo cognitivo y visual durante la niñez del ser humano y está asociado con la promoción de la salud cardiovascular, neurológica y mental (Chikwanha *et al.*, 2018).

En lo que respecta a los AGPI n-6, el ácido linoleico es el AGPI n-6 más abundante en la carne ovina, el consumo de este disminuye las concentraciones de lipoproteínas de baja densidad y colesterol, pero aumenta el riesgo de muerte por enfermedad de arterias coronarias cuando este reemplaza a los ácidos grasos saturados como el mayor ácido graso consumido. Otro miembro de este grupo es el ácido araquidónico, el cual es precursor de lipoxinas que están involucradas en la reducción de la inflamación, también participa en el desarrollo cerebral y ocular durante la gestación e infancia, en conjunto con el ácido docosahexanoico. Sin embargo,

prostaglandinas y leucotrienos derivados del mismo ácido araquidónico están asociados a la presencia de inflamación y enfermedades cardiovasculares (Mattson and Grundy, 1985; Chikwanha *et al.*, 2018).

En relación a los ácidos grasos pertenecientes al ácido linoleico conjugado, en los rumiantes, el principal ácido linoleico conjugado es el ácido rumelenico y el isómero de ácido linoleico conjugado más abundante en la carne ovina es el ácido rumenico, estos dos ácidos conjugados han ganado interés en la medicina debido a que poseen considerables actividades antiinflamatorias, inmunomoduladoras, anticarcinogénicas y anti-obesidad. Sin embargo, los efectos de los isómeros de ácidos conjugados han sido estudiados principalmente *in vitro*, son limitados el número de estudios *in vivo* que usen modelos animales, lo cual garantiza investigación de esta área del conocimiento en un futuro (Chikwanha *et al.*, 2018).

2.3.4. Estrategias para mejorar la calidad de la grasa en carne y productos cárnicos.

En los últimos años ha existido un interés creciente en la modificación de los lípidos de la carne, con el fin de obtener perfiles nutricionales más saludables para los consumidores, o bien, para mejorar las características tecnológicas de la carne y productos cárnicos (Rodríguez, 2011).

Dentro de cada especie, se ha demostrado que existen muchos factores como la raza, el genotipo, el sexo, el peso al sacrificio, la dieta, la condición corporal, el tipo de músculo, el tipo de corte comercial y el método de cocción, que afectan la composición de ácidos grasos de la carne. Entre las estrategias más utilizadas para mejorar el perfil de ácidos grasos de la carne, están aquellas relacionadas con la alimentación o la genética de los animales de abasto. En relación a las primeras, existe una amplia bibliografía sobre la influencia de la dieta en la cantidad y composición de los ácidos grasos de los tejidos de los

animales (Rodríguez, 2011; Chikwanha *et al.*, 2018). Sin embargo, los retos de incrementar en la carne ovina los ácidos grasos benéficos para la salud humana mediante la alimentación incluyen la extensa biohidrogenación de los AGI en el rumen, la baja conversión de 18:3n-3 a AGPI n-3 de cadena larga en los tejidos y la preferencial incorporación de AGPI n-3 a fosfolípidos versus lípidos neutros.

Los cambios en la composición de ácidos grasos de la carne ovina debido a la suplementación lipídica, son dependientes de la cantidad de suplementos lipídicos incluidos en la dieta, el perfil de ácidos grasos del suplemento, forma y/o procesamiento de los lípidos de la dieta, la composición de la dieta basal y la duración del sistema de alimentación con suplementos lipídicos. Las estrategias que se han utilizado para aumentar los ácidos grasos benéficos de la carne proveniente de rumiantes son incluir dentro de la alimentación intermediarios de la biohidrogenación ruminal, aceites vegetales, aceites de semillas oleaginosas, lípidos de productos marinos, lípidos protegidos, forrajes, antioxidantes y promotores de crecimiento (Chikwanha *et al.*, 2018).

Los suplementos lipídicos comúnmente usados en los sistemas de alimentación para mejorar la composición de los ácidos grasos de la carne de rumiantes incluyen aquellos que son ricos en ácido eicosapentanoico y ácido docosahexanoico como las algas y aceite de pescado, los que son ricos en ácido α -linolénico como pastos frescos y linaza, también los que tienen gran cantidad de ácido linoleico como maíz, aceite de maíz, harina de soya y girasol y los que son fuente de ácido oleico como la canola, colza, aceite de oliva y aceite de cártamo (Gómez-Cortés *et al.*, 2014; Chikwanha *et al.*, 2018).

Otra posible estrategia para mejorar la calidad de la grasa en productos cárnicos está relacionada con la selección de materias primas con un nivel de grasa muy reducido y la modificación de los procesos tecnológicos de elaboración de los productos cárnicos. Otras alternativas utilizan la sustitución

parcial de la grasa animal por otras grasas o aceites vegetales más convenientes desde el punto de vista tecnológico y/o nutricional. En la literatura científica podemos encontrar productos cárnicos, tales como hamburguesas, salchichas, chorizos u otros embutidos, en donde se ha modificado su perfil lipídico mediante la incorporación de aceite de oliva, girasol, linaza, cacahuete, pescado, algas, soya y ácido linoleico conjugado (Jiménez-Colmenero, 2000; Rodríguez, 2011).

2.3.5. Impacto de la oxidación en la carne y los productos cárnicos.

La carne es un alimento que es rico en lípidos y proteínas, el cual es muy perecedero debido a los procesos químicos y enzimáticos de oxidación ocurridos durante el corte, picado, manipulación, envasado y cocción. Esto se debe a que, en condiciones fisiológicas normales, las células animales están continuamente expuestas a factores oxidantes que pueden tener tanto una procedencia externa como interna. Las células se defienden de estas agresiones mediante un sistema antioxidante de defensa. De este modo, en la célula viva se mantiene un balance entre factores antioxidantes y oxidantes. Los cambios bioquímicos que acompañan la conversión de músculos en carne, hacen desaparecer las condiciones que mantenían este equilibrio entre factores antioxidantes y factores oxidantes, desplazándose hacia estos últimos (Rodríguez, 2011; Papuc *et al.*, 2017).

El deterioro oxidativo de los lípidos y proteínas en la carne ocasiona que el consumo de carne sea indeseable para el ser humano debido a que provoca el desarrollo de olores y sabores desagradables ocasionados por productos de oxidación volátiles como los aldehídos, cambios de la coloración debido a la oxidación de la oximioglobina, aumento de la pérdida de agua por goteo, disminución de los nutrientes, acortamiento de la vida de anaquel y surgimiento de productos secundarios de oxidación con efectos tóxicos asociados a

enfermedades como arterioesclerosis, enfermedades neurodegenerativas y cáncer (Rodríguez, 2011; Falowo *et al.*, 2014; Papuc *et al.*, 2016).

El deterioro oxidativo de la carne puede comenzar con factores como la producción de sustancias químicas reactivas, la ruptura de las células, el contacto con la luz y el oxígeno, la presencia de hierro tanto hemínico como no hemínico y el contacto con radiaciones. El deterioro oxidativo de la carne inicia principalmente con la oxidación de oximioglobina a ferrimioglobina, debido a que a partir de esta reacción es generado un anión superóxido, el cual es un agente oxidante para los lípidos, especialmente los AGPI, los cuales son muy susceptibles a la oxidación. Para explicar los procesos de oxidación de los lípidos se ha postulado el mecanismo de reacción en cadena de los radicales libres, el cual consta de tres fases generales: iniciación, propagación, y terminación. Durante este mecanismo se desarrolla la aparición de mecanismos secundarios que son prooxidantes tanto para otros lípidos como para las proteínas. Respecto a la oxidación proteica en la carne, este también es un mecanismo de reacciones en cadena que puede ser inducido por vía directa mediante especies reactivas e indirectamente por los productos secundarios de la oxidación lipídica. Las principales modificaciones creadas en las proteínas debido a la oxidación se llevan a cabo en las cadenas laterales de aminoácidos y en los enlaces peptídicos ocasionando fragmentación y cambios en la conformación de las estructuras secundarias y terciarias (Wood *et al.*, 2008; Rodríguez, 2011; Falowo *et al.*, 2014; Hernández, 2016; Papuc *et al.*, 2016).

2.3.6. Los antioxidantes en la carne y los productos cárnicos.

La oxidación de los lípidos y proteínas de la carne y los productos cárnicos puede ser reducida o inhibida por el uso de antioxidantes, por lo tanto la calidad del producto y la vida de anaquel pueden mejorar con el uso de estos (Shah *et al.*, 2014). Los antioxidantes se definen como compuestos que pueden

neutralizar los radicales libres al aceptar o donar electrones para eliminar una sobrecarga de sustancias reactivas al oxígeno (Bielli *et al.*, 2015).

Los antioxidantes pueden prevenir la oxidación usando los siguientes mecanismos: previniendo el inicio de las reacciones de oxidación en cadena eliminando los radicales iniciadores, rompiendo las reacciones de oxidación en cadena, descomponiendo los peróxidos, disminuyendo las concentraciones de oxígeno localizado y los catalizadores que favorecen la unión para el inicio de la cadena de reacciones de oxidación (Shah *et al.*, 2014).

Existen un gran número de compuestos que se han propuesto con posible actividad antioxidante, pero solo un número reducido de ellos puede ser usado en productos alimenticios debido a que el uso de antioxidantes en productos alimenticios es controlado por leyes regulatorias de los países o estándares internacionales (Shah *et al.*, 2014).

Los antioxidantes pueden ser de origen natural o sintético. Los antioxidantes sintéticos como el hidroxibutilanisol, el butilhidroxitolueno, la terbutil hidroquinona y el propil galato se han usado ampliamente en carne y productos avícolas. Sin embargo, en los años recientes ha crecido la demanda de antioxidantes naturales, principalmente de origen vegetal, debido a la creciente preocupación entre los consumidores por la presencia de posibles efectos toxicológicos de los antioxidantes sintéticos (Falowo *et al.*, 2014).

La principal fuente de sustancias bioactivas con papel antioxidante para el ser humano son las plantas, por lo tanto, diferentes productos vegetales han sido evaluados como antioxidantes naturales para preservar y mejorar la calidad de la carne y los productos cárnicos. Estos antioxidantes naturales derivados del reino vegetal se extraen a partir de diferentes productos agrícolas como las frutas (uvas, granada, dátil, mandarinas, aguacate, entre otros), verduras (brócoli, papa, calabaza, curry, entre otros), hierbas y especias (te, romero,

orégano, ortiga, canela, menta, salvia, tomillo, jengibre, clavo, entre otros) usando diferentes métodos y solventes (Falowo *et al.*, 2014).

Los extractos de productos vegetales que reflejan concentraciones elevadas de compuestos fenólicos son considerados como fuentes efectivas de antioxidantes que inhiben la oxidación en la carne y los productos cárnicos, debido a que los compuestos fenólicos son los principales constituyentes de los materiales vegetales a los que se atribuye actividad antioxidante (Falowo *et al.*, 2014; Shah *et al.*, 2014).

Sin embargo, las propiedades antioxidantes del extracto de una planta pueden ser determinadas por técnicas o reactivos como: el pordiphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), el ensayo de eliminación de aniones superóxido, el ensayo de fosfomolibdato, el ensayo de eliminación de radicales de hidrógeno, la actividad de barrido de peróxido de hidrógeno, el ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS) y el ensayo de actividad de eliminación de radicales y poder reductor (Falowo *et al.*, 2014; Shah *et al.*, 2014).

2.3.7. Estrategias para mejorar la composición antioxidante en carne y productos cárnicos.

Existen dos posibles estrategias para la inclusión de antioxidantes naturales en la carne y productos cárnicos: la primera es incluir antioxidantes presentes en el músculo provenientes de la dieta de los animales, o bien, la segunda opción resulta mediante la incorporación tecnológica directa durante el proceso de elaboración de productos cárnicos (figura 2) (Rodríguez, 2011; Falowo *et al.*, 2014).

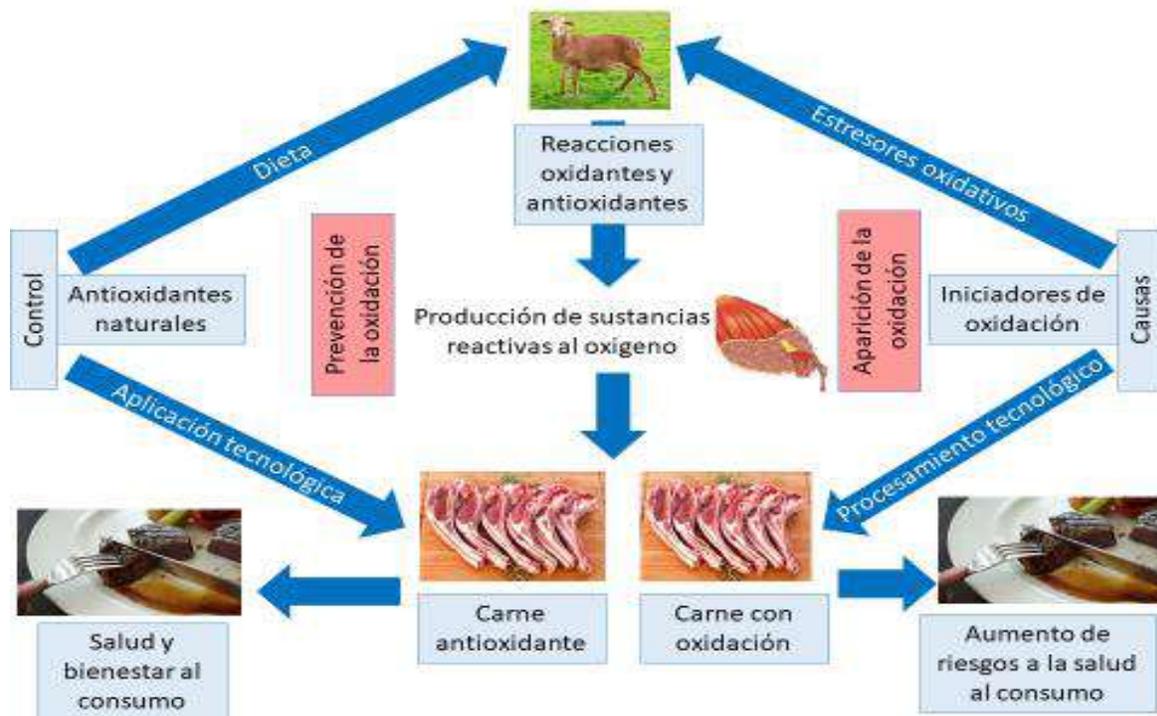


Figura 2. Interacción entre la iniciación oxidativa y el potencial de los antioxidantes naturales en la prevención de la oxidación de la carne. Fuente: Falowo *et al.* (2014).

Existen numerosas evidencias científicas sobre la mejora de la estabilidad oxidativa de la carne mediante la incorporación de antioxidantes ingeridos en la dieta, ya sean añadidos en el alimento (Cuadro 4), o que pertenezcan naturalmente a los ingredientes de la dieta. Estas mejoras en la estabilidad oxidativa de la carne adquieren más importancia cuando los animales son alimentados con dietas ricas en AGMI o AGPI, debido a la susceptibilidad que tienen estos ante la oxidación (Rodríguez, 2011).

Cuadro 4. Efecto de la inclusión de antioxidantes naturales en la dieta en la oxidación lipídica comparada con una dieta control.

Fuente natural	Especie animal	Tipo de carne	Temperatura y duración de almacenamiento	Efecto de la oxidación
Extracto (romero, uva, cítricos, caléndula y vitamina E)	bovinos	<i>Longissimus thoracis, Semitendinosus</i>	4°C 12 días	SD
Hojas de tomillo (<i>Thymus zygis</i>)	ovinos	Pierna deshuesada	4°C 0-4 días	SD
Hojas de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	conejos	<i>Longissimus dorsi</i>	4°C 1y 9 días	SD
Hojas de olivo	porcinos	<i>Longissimus dorsi</i>	4°C 0-9 días	SD
Hojas de romero	ovinos	Pierna deshuesada	4°C 0-4 días	SD
Hojas de <i>Andrographis</i>	caprinos	<i>Longissimus dorsi</i>	4°C 14 días	SD
Hojas de Verbenacea	porcinos	<i>Longissimus dorsi</i>	4°C 0 y 1 día	SD
<i>Citrus ladanifer</i>	ovinos	<i>Longissimus dorsi</i>	2°C 0-7 días	SD
Extracto de hojas de <i>Moringa oleifera</i>	aves	Hamburguesas de pechuga de pollo	4°C 1-8 días	SD
Extracto de semillas de uva	ovinos	<i>Longissimus dorsi</i>	2°C 0-7 días	SD

SD: Disminución significativa de la oxidación lipídica. Fuente: Falowo *et al.* (2014).

En cuanto a las estrategias tecnológicas, estas implican la aplicación de antioxidantes directamente en la carne y productos cárnicos (Cuadro 5) o el recubrimiento de materiales de empaque con extractos vegetales con actividad

antioxidante para mejorar la estabilidad oxidativa de los productos (Falowo *et al.*, 2014).

Cuadro 5. Efecto de la inclusión tecnológica de antioxidantes naturales en la oxidación lipídica y proteica de la carne.

Fuente natural	Tipo de carne	Temperatura de almacenamiento	Duración de almacenamiento	Efecto en la oxidación
Orégano + hojas de salvia	Pechuga y muslo de pollo	4 °C	98 horas	SDL
Extractos de grosella negra	Hamburguesas de cerdo	4 °C	9 días	SDLP
Extractos de romero	Hamburguesas de hígado porcino	4 °C	90 días	SDP
Extractos de hojas de olivo	Hamburguesas de res	4 °C	6 y 12 días	SDL
Extracto de hoja de brócoli	Hamburguesas de res	4 °C	12 días	SDL
Extractos de hojas de curry	Carne porcina	4 °C	0-12 días	SDL
Extractos de semilla de uva	Carne de res cocinada	4 °C	7 días	SDL
Extractos de semilla y cascara de aguacate	Hamburguesas de carne porcina	4 °C	15 días	SDPL

SDL=Disminución significativa de la oxidación lipídica, SDP= Disminución significativa de la oxidación proteica, SDPL= Disminución significativa de la oxidación lipídica y proteica. Fuente: Falowo *et al.* (2014).

2.4. El aguacate.

El aguacate (*Persea americana*) es una planta arbórea originaria de México, Centroamérica y Sudamérica, el cual fue cultivado primeramente en México, en el año 500 a.C. El aguacate es un miembro de la familia de las lauráceas. Sus hojas de 12 a 25 cm de longitud presentan una coloración verde medio a oscuro y se disponen de forma alterna a lo largo de los tallos. Las flores son de pequeña magnitud, de color amarillo verdoso, estas producen frutos en forma de pera que tienen un peso de 100 a 1,000 g. La piel es de color verde oscuro y en ocasiones morado oscuro y casi negro, dependiendo del grado de madurez y la variedad. El tamaño del fruto es de unos 7 a 20 cm de largo y su diámetro medio de unos 6 cm, con una gran semilla central (Rodríguez, 2011; SAGARPA, 2016).

El aguacate se clasifica en tres variedades: la mexicana, la guatemalteca y la antillana, a partir de las cuales se han realizado cruza inducidas e investigaciones de mejoramiento genético. La variedad Hass, se obtuvo en California por Rudolph G. Hass y se considera que es producto de la cruce entre la guatemalteca y la mexicana (SAGARPA, 2016). El aguacate de la variedad Hass es el de mayor importancia nutricional y económica debido a sus propiedades y a que la cosecha de esta fruta se realiza durante todo el año (Hernández, 2016).

El aguacate es un fruto reconocido por su alto contenido nutricional. En relación a su composición química, la pulpa del aguacate presenta, un porcentaje de humedad del 65-80%, 0.8-4.8% de glúcidos, 1-4% de proteína, 10- 30% de lípidos, 0.8-1.5 % de cenizas y 1.4-3% de fibra. La pulpa del aguacate es rica en vitaminas E y vitaminas pertenecientes al complejo B como tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina y ácido fólico, también contiene moderadas cantidades de vitaminas C, A y D. En cuanto al contenido de minerales, el aguacate es especialmente rico en potasio, fosforo, calcio, magnesio y sodio.

Es importante mencionar que el contenido de lípidos es uno de los atributos principales del aguacate, estos lípidos presentes en la pulpa son principalmente lípidos polares como glucolípidos y fosfolípidos. Los ácidos grasos encontrados en la pulpa del aguacate son mayormente monoinsaturados (72%) como el ácido oleico y el palmitoleico, siendo el ácido oleico el más abundante representando aproximadamente el 59% del total de ácidos grasos (Naveh *et al.*, 2002; Pieterse *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2005; Azizi y Najafzadeh, 2008; Rodríguez, 2011; Hernández, 2016), la pulpa de aguacate también contiene pequeñas cantidades de AGPI (ácido linoléico, ácido linolénico y ácidos eicosanoicos) y una cantidad significativa de AGS, destacando la presencia del ácido palmítico, esteárico y en menor proporción el ácido mirístico. Por último, es importante mencionar que en la pulpa del aguacate también se encuentran compuestos como taninos, polifenoles, fitoestrogenos y carbohidratos de 7 carbonos como el perseitol (Araújo *et al.*, 2018).

Por otro lado, la semilla del aguacate representa del 15 al 16% del peso total del fruto y junto con la cascara pueden llegar a representar del 21 al 30% del fruto. (Perea-Moreno *et al.*, 2016; Araújo *et al.*, 2018) Los principales constituyentes de estas partes del aguacate son carbohidratos como fibras de hemicelulosa y almidones principalmente, aunque también se encuentran alcaloides, esteroides, ácidos grasos, saponinas y compuestos fenólicos como los triterpenoides, catequinas, taninos y flavonoides (Perea-Moreno *et al.*, 2016; Abubakar *et al.*, 2017; Araújo *et al.*, 2018).

Se han realizado numerosas investigaciones en relación a los beneficios para la salud aportados por el aguacate o sus subproductos, entre los cuales se han descrito posibles efectos inhibitorios contra algunos tipos de procesos cancerígenos, asimismo se han reportado efectos antihipertensivos e hipocolesterolemicos que son benéficos contra enfermedades cardiovasculares, también se le reconocen efectos antidiabéticos (Kritchevsky *et al.*, 2003; Pieterse *et al.*, 2003; Pieterse *et al.*, 2005). De igual forma, se ha

comprobado que protege del daño al DNA y contribuye en la salud hepática, ocular y cutánea. Otras investigaciones se han enfocado en el estudio de los subproductos (cáscara y semilla) como fuentes de ácidos grasos, así como de compuestos fenólicos y pigmentos de interés biológico con actividad antiinflamatoria, antimicrobiana, antioxidante, larvicida, antifúngica y antiprotozoaria que se podrían emplear en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica (Lu *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010; Villa *et al.*, 2010; Rodríguez, 2011; Abubakar *et al.*, 2017; Araújo *et al.*, 2018).

2.4.1. Situación de la producción y consumo del aguacate.

Los aguacates son consumidos comúnmente frescos, aunque también los procesos industriales para este fruto han aumentado debido al incremento de la producción y su larga estacionalidad que facilita el transporte y distribución del mismo. Algunos de los productos con mayor comercialización de la industria de los alimentos derivados de este fruto son el guacamole, aceite, bebidas y helados. De igual manera, el aguacate últimamente se ha incorporado en las industrias de cosméticos, jabones y shampoos. Además, las industrias están aprovechando los subproductos de aguacate (semilla y cáscara) para extraer aceite y otros compuestos que están presentes en niveles de concentración importantes y se pueden utilizar como antioxidantes, aromatizantes, colorantes o aditivos texturizantes (Perea-Moreno *et al.*, 2016; Hurtado-Fernández *et al.*, 2018).

A pesar de que el aguacate se originó en América central, actualmente el cultivo de aguacate se lleva a cabo en todo el mundo. Sin embargo, el continente americano es el que tiene la mayor cantidad de hectáreas cosechadas y por ende el que domina la producción mundial con un 70.3%. Los países que lideran la producción de aguacate a nivel mundial son México (31.1%), República Dominicana (8.2%), Colombia (6.4%), Perú (6.1%) e Indonesia (5.9%). En el año 2013, la producción mundial de aguacate fue de

alrededor 4.7 millones de toneladas, manifestando un incremento del 5% en comparación al año anterior (Hurtado-Fernández *et al.*, 2018).

En general, los países que tienen las producciones más amplias de aguacate también tienen la tendencia de ser los principales consumidores de este fruto. Sin embargo, durante los últimos años la demanda de esta fruta en varios mercados, ha ocasionado un aumento del 65% del volumen de aguacate destinado a exportación en los últimos 10 años. Los principales países exportadores de aguacate son México (47%), los países bajos (10%), Chile (8.7%) y Perú (7.9%). Por otro lado los principales países importadores de esta fruta tropical son Estados Unidos (44.6%), Los países bajos (10.7%), Francia (8.4%) y Japón (5.2%) según Hurtado-Fernández *et al.* (2018).

En nuestro país, en el año 2017 el estado de Michoacán fue el principal productor de aguacate, con una producción de 1,565,895.76 ton; le siguen en menor escala los estados de Jalisco con 169,688.15 ton, Estado de México con 108,767.56 ton, Nayarit con 49,245.79 ton y Morelos con 34,845.57 ton. El estado de Nayarit se encuentra en el cuarto lugar de producción anual a nivel nacional de este fruto, los municipios productores más importantes del estado nayarita en el año 2017 fueron Tepic con 19,650.18 toneladas, Xalisco con 17,850.01 toneladas, San Blas con 10,072.72 toneladas, Jala con 518.10 toneladas y Santa María del Oro con 440.65 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2018).

2.4.2. El aguacate como alimento no convencional en la alimentación animal.

Las propiedades nutricionales y saludables del aguacate, junto con la producción masiva de este fruto en México, que permite cubrir la demanda interna, exportar a terceros países y aún hay un abundante exceso, se ha propuesto el uso del aguacate como alimento no convencional en la

alimentación animal. Estos excesos del fruto de aguacate pueden ser utilizados para la alimentación animal, esto es particularmente aplicable para aguacates que no son considerados aptos para la alimentación humana debido a que no cumplen con los estándares comerciales de calidad, como el tamaño del fruto, sin embargo estos, conservan todas sus propiedades nutricionales (Hernández, 2016; Hernández-López *et al.*, 2016).

La aplicación del aguacate en la alimentación ovina está escasamente documentada, sin embargo, se dispone de datos en experimentos con ovinos que muestran que la pulpa de aguacate tiene baja estabilidad a la exposición aeróbica y una baja digestibilidad *in vivo* de materia orgánica debido a la poca digestibilidad que presenta su fibra neutro detergente y (Eliyahu *et al.*, 2015). Anteriormente, también se analizó el potencial de la harina de aguacate proveniente de las industrias productoras de aceite de aguacate para la incorporación a la dieta de ovinos, en donde se determinó la presencia de una alta cantidad de fibra y una alta digestibilidad *in vivo* de materia seca de los desechos del aguacate, pudiendo representar una opción para el mantenimiento de rumiantes con dietas de baja producción (Skenjana *et al.*, 2006).

Respecto a la utilización del aguacate en la alimentación de otras especies animales, hay información sobre el uso de dietas enriquecidas con pasta fresca de aguacate de desecho en cerdos comerciales en la etapa de finalización, observándose beneficios en términos de calidad de la carne, debido a modificaciones presentadas en carne proveniente del músculo *Longissimus thoracis et lumborum*, la cual manifestó una disminución en la cantidad de la grasa intramuscular, aumento de la insaturación de la grasa intramuscular y protección de los lípidos y proteínas de la carne contra las reacciones de oxidación debido a la contribución de tocoferoles provenientes de la inclusión de pasta de aguacate de desecho en la dieta (Hernández, 2016; Hernández-López *et al.*, 2016). Previamente, también existe información acerca del uso del

aguacate en la alimentación del cerdo pelón mexicano, en donde se concluyó que el nivel de inclusión de aguacate en la dieta del cerdo pelón mexicano debe contemplar una alta digestibilidad de la fracción de grasa cruda y un deterioro considerable de la retención de nitrógeno (N), probablemente debido a una composición desequilibrada de aminoácidos (Grageola *et al.*, 2010).

2.5. Relación de la calidad de la carne y los productos cárnicos con la expresión de genes.

Los rasgos de la calidad de la carne están altamente relacionados con los rasgos biológicos del animal cuando este se encuentra vivo, por lo tanto, las ciencias biológicas como la genética, fisiología, biología celular y bioquímica han sido empleadas para caracterizar los mecanismos biológicos que provocan la gran variabilidad, en rasgos que pueden impactar en la calidad de la carne como la terneza, la capacidad de retención de agua o la composición lipídica de la carne (Bendixen, 2005).

Conforme se ha expandido en los últimos años el conocimiento de las ciencias biológicas y se amplía el estudio de temas relacionados a rasgos que afectan la calidad de la carne como el crecimiento muscular, la composición de las canales o el metabolismo lipídico, se ha vuelto cada vez más claro que los rasgos de la calidad de la carne son complejos, debido a que son controlados y asociados con un mecanismo de regulación de diferentes genes y proteínas. Por lo tanto, la caracterización de estos mecanismos de regulación multigénica representa un paso importante que permite la posibilidad de acrecentar la sustentabilidad de producción y mejorar la calidad de la carne y los productos cárnicos (Bendixen, 2005).

Dentro de los pocos esfuerzos por caracterizar estos procesos que alteran los rasgos que le dan la calidad a la carne y productos cárnicos proveniente de animales rumiantes, se ha manifestado que las estrategias de alimentación son

una importante herramienta para manipular el perfil de ácidos grasos intramusculares mediante la alteración de la expresión genética de enzimas relacionadas con el metabolismo de los lípidos de los pequeños rumiantes (Dervishi *et al.*, 2011).

2.6. Metabolismo ruminal y repercusión de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF-1 y SCD en el metabolismo de lípidos de los rumiantes.

Una gran cantidad de autores sugieren que los lípidos esterificados provenientes de la dieta en los rumiantes tienen que sufrir dos grandes procesos en el rumen: Lipólisis y biohidrogenación antes de llegar al intestino delgado (Buccioni *et al.*, 2012).

El proceso de lipólisis lo realiza principalmente la especie bacteriana *Anaerovibrio lipolitica*, por la acción de sus lipasas asociadas a sus estructuras membranosas externas. Estas lipasas tienen una actividad máxima enzimática a pH de 7.4 con un rango de temperatura entre 20 y 22°C. También tienen actividad lipolítica, aunque en menor proporción, las especies bacterianas *Butirivibrio fibrisolvens* y *Butirivibrio* LM8/1B. En cuanto a los protozoarios, su papel en la lipólisis es reducido y con resultados muy variables y los hongos no intervienen en este proceso (Castillo *et al.*, 2013).

En la lipólisis, los galactoacilglicérols se hidrolizan a glicerol, ácidos grasos y galactosa; los fosfolípidos, a ácidos grasos libres, fosfato y glicerol y los triglicéridos, a ácidos grasos y glicerol. El glicerol, se incorpora a la glucólisis para la producción de piruvato, el cual, es posteriormente transformado en propionato, mediante el proceso de fermentación anaerobia. La galactosa es rápidamente fermentada y transformada en ácidos grasos volátiles y los AGMI y AGPI se biohidrogenan. La velocidad de la lipólisis aumenta cuando se incrementa el grado de insaturación de los ácidos grasos, con la excepción de los ácidos grasos presentes en productos marinos (Castillo *et al.*, 2013).

El proceso de biohidrogenación ocurre en el rumen por acción de microorganismos, principalmente bacterias, aunque también en el tracto gastrointestinal posterior, los hongos y protozoarios participan en el proceso. La biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados se realiza por etapas sucesivas de hidrogenación e isomerización. Es importante mencionar que cada ácido graso forma parte de su propia ruta metabólica y sufre la acción enzimática de especies bacterianas específicas. Un ejemplo de lo anterior son las diferencias entre la biohidrogenación del ácido α -linolénico y el ácido linoleico: Las rutas metabólicas de la biohidrogenación del ácido α -linolénico son más extensas, lo que sugiere que este ácido produce un mayor número de compuestos que pueden aparecer en la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos como el ácido linoleico conjugado y el ácido vaccénico. Por el contrario, el ácido linoleico presenta menor número de vías de biohidrogenación según se aprecia en la figura 3 (Castillo *et al.*, 2013).

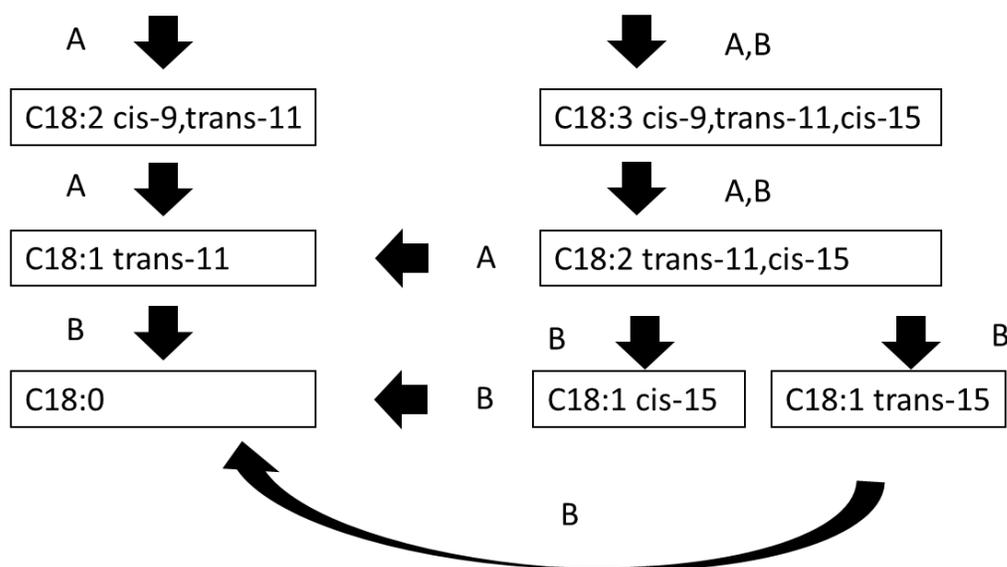


Figura 3. Rutas principales de la biohidrogenación del ácido linoleico y α -linolénico en el rumen, junto con los microorganismos implicados. Fuente: (Castillo *et al.*, 2013). Las letras A y B indican diferentes grupos bacteriales implicados en el proceso.

A consecuencia del metabolismo ruminal, los lípidos que abandonan el rumen son predominantemente AGS no esterificados de origen alimentario y microbiano (70%), también pasan al intestino delgado cantidades variables de fosfolípidos microbianos (10-20%). El ácido oleico alcanza un valor medio de 6.2% del total de ácidos grasos que sobrepasan el rumen, dentro del cual los isómeros trans de este representan menos de la mitad. Respecto a los AGPI, únicamente el 10-15% de los AGPI consumidos en la dieta escapa a la biohidrogenación ruminal. El principal sitio de absorción de las grasas es el tramo medio y final del yeyuno aunque también ocurre absorción en el tramo inicial a pesar del bajo pH. En el yeyuno superior se absorben exclusivamente los ácidos grasos libres que llegan del duodeno con el alimento, mientras que los ácidos grasos procedentes de la digestión enzimática de las grasas neutras y los fosfolípidos son absorbidos en los dos tercios finales (Martínez *et al.*, 2010).

De acuerdo con este mismo autor en el interior de los enterocitos, los ácidos grasos absorbidos de menos de 12 carbonos son vertidos directamente a la vena porta y transportados al hígado; el resto son esterificados para formar triglicéridos y fosfolípidos, e incorporados a lipoproteínas de muy baja densidad y quilomicrones que se transportan por vía linfática hasta el torrente sanguíneo para su distribución a los tejidos.

Es importante mencionar que los ácidos grasos circulantes en el torrente sanguíneo disponibles para la captación, se originan a partir de los lípidos absorbidos en el tracto digestivo y de la movilización de las reservas corporales. Dado que las células solo captan los ácidos grasos libres, la utilización de los triglicéridos plasmáticos presentes en las lipoproteínas y quilomicrones, requiere la intervención de la lipoproteinlipasa, la cual libera los ácidos grasos, que alcanzan la superficie de las células y pueden atravesar su membrana mediante la acción de proteínas transportadoras (Palmquist, 2006;

Bauman *et al.*, 2011). Es importante mencionar que esta proteína transportadora de ácidos grasos tiene identificadas las isoformas 3, 4 y 5 (Dervishi *et al.*, 2011).

En estudios previos realizados en ovinos, se observó que las dietas con alta energía se correlacionan con un aumento de grasa intramuscular en los ovinos (Wang *et al.*, 2016). Los lípidos almacenados en los adipocitos pueden ser sintetizados de *novo* en los mismos adipocitos o provenir de la circulación sanguínea. Respecto a la síntesis de ácidos grasos de *novo*, el gen ACACA codifica la enzima acetil-CoA carboxilasa alfa, la cual cataliza la carboxilación de acetil-CoA para formar malonil-CoA, siendo este, el primer paso de la biosíntesis de ácidos grasos de cadena larga, en los tejidos lipogénicos. Posteriormente la ácido graso sintasa codificada por el gen FAS, es la enzima clave de la síntesis de ácidos grasos, ya que cataliza acetil coenzima A, malonil coenzima A y nicotinamida adenina dinucleotido 2 fosfato para sintetizar principalmente ácido palmítico, así como otros ácidos grasos de cadena larga (Stachowiak *et al.*, 2013).

Por otro lado, los factores de transcripción son proteínas con la capacidad de regular la transcripción del DNA; por lo que, sin participar directamente en un paso específico de una ruta metabólica, pueden activar o inhibir la expresión de los genes que codifican las enzimas que intervienen en ella (Kadegowda *et al.*, 2009). Los dos genes más relacionados con el metabolismo lipídico son el gen PPARG, el cual codifica el receptor gamma activado por el proliferador de peroxisomas, este es un miembro de la familia de los receptores nucleares y es considerado el principal regulador de la diferenciación en el proceso de adipogénesis. También el gen SREBF-1, el cual codifica el factor 1 de unión a elementos reguladores del esteroles, está estrechamente involucrado en la diferenciación y en la acumulación de lípidos en los adipocitos, al mejorar la conversión adiposa estimulando la generación de ligandos PPARG que a su vez activan la actividad transcripcional de PPARG. Consecuentemente,

SREBF-1 induce la expresión de genes de biosíntesis de ácidos grasos como el acetil Co-A carboxilasa alfa, ácido graso sintasa y proteína de unión a ácidos grasos en adipocitos (Stachowiak *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016).

El proceso de biohidrogenación ruminal provoca que los ácidos grasos absorbidos en el intestino de los rumiantes sean en su mayoría saturados, de ahí que la esteroil-CoA desaturasa codificada por el gen SCD sea especialmente activa en estas especies, considerándose un regulador clave en los procesos de deposición y composición de lípidos. La esteroil-CoA desaturasa es una monodesaturasa lipídica microsomal que también se conoce comúnmente como $\Delta 9$ -desaturasa, y cataliza la biosíntesis de AGPI a partir de AGS por su desaturación cis entre los carbonos 9 y 10, principalmente en los ácidos grasos C16:0 y C18:0. También destaca la participación de esta enzima en la producción endógena de los ácidos pertenecientes al ácido linoleico conjugado a partir de trans -11 C18:1 en tejidos animales (Bernard *et al.*, 2013; Aali *et al.*, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento.

El trabajo zootécnico se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología Nutricional y Cirugía Experimental ubicado en la Unidad Académica de Agricultura (U.A.A.) de la Universidad Autónoma de Nayarit, localizado a un costado de la carretera Tepic-Puerto Vallarta, a la altura del Km. 9. Las determinaciones analíticas de composición lipídica y antioxidante de la carne se realizaron en la Unidad Especializada en Calidad de Alimentos y Productos Naturales del Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología, A.C. (CENiT²) localizado en calle 3, esquina con avenida nueve en la Cd. Industrial, Tepic, Nayarit. Los análisis moleculares se trabajaron en el laboratorio de Bromatología y Nutrición Animal ubicado en la (U.A.A.), en el laboratorio de Biología Molecular del (CENiT²) y en el Instituto de Biotecnología Animal del Departamento de producción animal perteneciente a la Universidad de Guadalajara localizado en el poblado de Cofradía de la luz, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México.

3.2. Diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3 X 3 más un tratamiento adicional (control).

Las variables independientes del modelo factorial fueron: para el factor 1, diferentes tiempos de inclusión previo al sacrificio (28 días, 56 días y 84 días) y para el factor 2, diferentes niveles de inclusión de harina de aguacate en la dieta en base seca (2.5, 5 y 10%), más una dieta control (0%) con un periodo de alimentación de 84 días y el efecto del animal como variable aleatoria. El tamaño muestral de cada uno de los grupos que se forman por la interacción de las variables del diseño factorial 3 X 3 + 1 fue de tres ovinos como se puede ver en la Figura 4. Los tratamientos se denominaron de acuerdo a la

interacción de los diferentes factores quedando de la siguiente manera: Tx 1: Control; Tx 2: 2.5%-28 días; Tx 3: 5%-28 días; Tx 4: 10%-28 días; Tx 5: 2.5%-56 días; Tx 6: 5%-56 días; Tx 7: 10%-56 días; Tx 8: 2.5%-84 días; Tx 9: 5%-84 días; Tx 10: 10%-84 días.

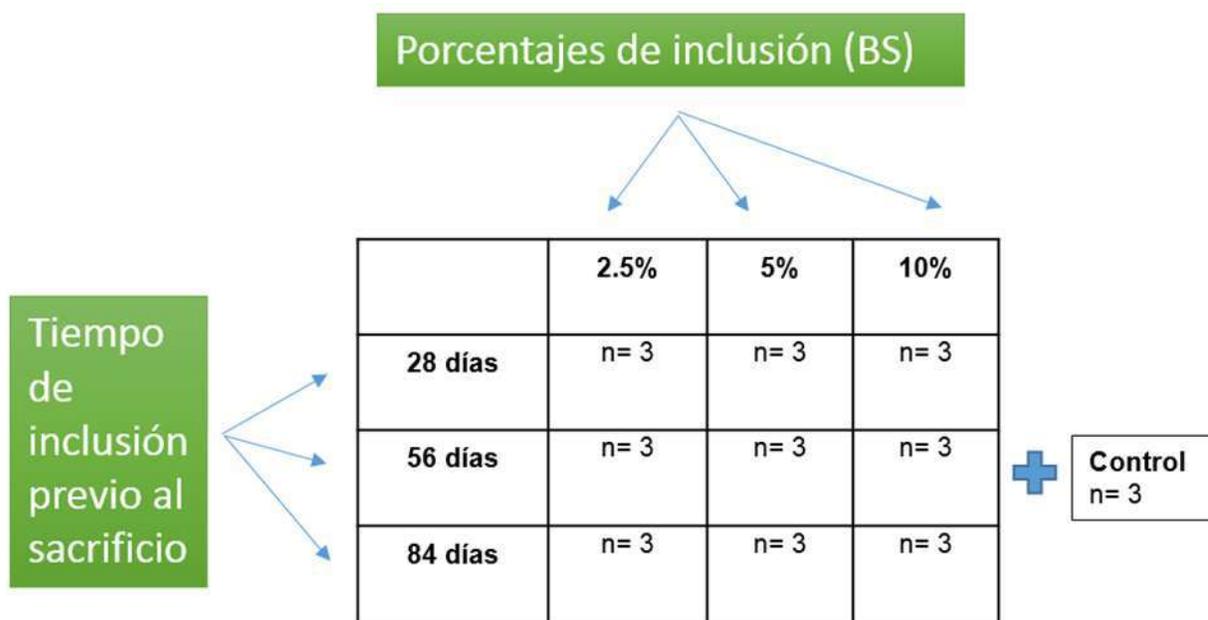


Figura 4. Esquema del diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3 X 3 más un tratamiento adicional (control).

3.3. Alimento.

3.3.1. Preparación de la harina de aguacate.

Primeramente, se preparó una pasta de aguacate siguiendo lo descrito por Hernández (2016); utilizando aguacates de la variedad “Hass”, los cuales fueron frutos de desecho de plantas empacadoras ubicadas en el poblado de Xalisco, Nayarit. El aguacate fue cortado en su madurez fisiológica y se dejó a temperatura ambiente hasta que alcanzó su madurez de consumo que se determinó por el color de la cascara del fruto con un Colorímetro Minolta R-400, al obtener valores promedio y desviación estándar de $L^* = 27.47 \pm 2.06$, $a^* = 2.27$

± 2.23 y $b^*=4.28 \pm 2.74$; y por la determinación de su firmeza mediante un Penetrometro digital modelo GY-4 al alcanzar valores de 2.41 ± 0.34 kg de fuerza necesarios para ocasionar una ligera opresión de la superficie. Una vez maduros, los aguacates completos (pulpa, semilla y cáscara) se molieron en forma fresca en dos ocasiones con un molino móvil de martillos y cuchillas sin criba y accionado con motor de gasolina; de manera que, se obtuvo una mezcla homogénea del aguacate.

La pasta de aguacate se almacenó a temperatura ambiente en tambos de plástico para posteriormente de manera paulatina secarse a temperatura ambiente durante cuatro días y molerse hasta la obtención de la harina de aguacate.

3.3.2. Preparación de las dietas experimentales.

La harina de aguacate se mezcló con el resto de los ingredientes de la dieta. El resto de los ingredientes de la dieta fueron: alfalfa molida, sorgo en grano, pasta de soya, canola, melaza, mezcla de minerales con monensina, urea y oxido de magnesio. La formulación de las diferentes dietas utilizadas como fuente de variación en el diseño experimental tienen una relación Forraje:Concentrado 40-60 y se balancearon isoproteicamente (14%) pero conteniendo distintos niveles de inclusión de harina de aguacate en base seca (0%, 2.5%, 5% y 10%) como se observa en el Cuadro 6. Las dietas se denominaron de acuerdo al porcentaje de inclusión de harina de aguacate quedando de la siguiente manera: Dieta A= 0%, Dieta B= 2.5%, Dieta C= 5% y Dieta D= 10%.

Posterior a la preparación, se tomaron 2 kg de muestras representativas de cada una de las dietas, las cuales se almacenaron al alto vacío y en congelación (-20 °C).

Cuadro 6. Composición porcentual e ingredientes utilizados en las dietas experimentales, utilizando diferentes niveles de harina de aguacate.

	0%	10%	5%	2.50%
Relación Forraje: Concentrado	40-60	40-60	40-60	40-60
Ingredientes				
Harina de Aguacate	0	10	5	2.5
Alfalfa molida	40	30	35	37.5
Sorgo grano	46.91	44.47	46.3	47
Pasta de soya	4.59	3.56	3	2
Canola	0.1	3.27	2	2.3
Melaza	7	7	7	7
Minerales con Monensina (0.3%)	1	1	1	1
Urea	0.1	0.4	0.4	0.4
Oxido de magnesio (0.3%)	0.3	0.3	0.3	0.3
Total (%)	100	100	100	100

3.3.3. Evaluaciones de las dietas experimentales.

3.3.3.1. Análisis químico proximal de las dietas experimentales.

Se realizó una evaluación proximal de los alimentos mediante la utilización de los métodos de determinación de contenido de humedad, contenido de proteína cruda, contenido de cenizas y contenido de fibra cruda descritos en la A.O.A.C. (2012). Por último, la determinación del contenido de extracto etéreo por Soxlet se realizó siguiendo el protocolo de la norma oficial mexicana (NMX-F-090-S-1978).

3.3.3.2. Determinación de la cantidad de la grasa de las dietas experimentales.

Se obtuvo la grasa de las muestras de las diferentes dietas siguiendo el método descrito por Folch *et al.* (1957), con algunas modificaciones (Hernández, 2016):

- Se pesaron 5 g de muestra en tubos de plástico para centrifugación de 50 mL.
- Se agregaron 25 mL de cloroformo/metanol (2:1) y se mezcló con la muestra utilizando un homogeneizador.
- Se centrifugo a 3000 rpm durante 10 minutos.
- Utilizando un embudo y papel filtro se recuperó la fracción líquida en un embudo de decantación.
- Nuevamente se agregaron 25 mL de cloroformo/metanol (2:1 v/v) a la fracción sólida presente en el tubo para centrifugación y se homogeneizó en un agitador tipo vortex.
- Se centrifugo a 3000 rpm durante 10 minutos nuevamente.
- Utilizando un embudo y papel filtro se recuperó la fracción líquida en el embudo de decantación.
- Al término de la filtración se agregaron 15 mL de una solución de NaCl al 0.75% y se agitaron vigorosamente los embudos de decantación. Se dejaron decantar durante 12 h.
- En matraces esmerilados, pesados previamente en peso constante, se recuperó la fase inferior o clorofórmica, filtrando a través de sulfato sódico anhidro.
- Se evaporó el disolvente en rotaevaporador utilizando vacío a una temperatura de 45 °C.
- El porcentaje de grasa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{[100 (\text{peso del matraz con muestra} - \text{peso del matraz vacío})]}{\text{peso de la muestra}}$$

La grasa recuperada se volvió a disolver en cloroformo a un volumen conocido para conservarla a -80 °C, para posteriormente determinar el perfil de lípidos por cromatografía de gases.

3.3.3.3. Determinación de la composición de la grasa de las dietas experimentales.

Primeramente, la grasa recuperada de las muestras se utilizó para la preparación de los FAMEs (fatty acid methyl esteres) mediante un proceso de metilación en frío siguiendo el protocolo de Cert *et al.* (2000):

- Se colocaron 30 mg de grasa en un tubo de ensayo con rosca y se evaporó el cloroformo donde estaba disuelta la misma bajo corriente de nitrógeno.
- Se añadieron 2 mL de n-hexano grado HPLC y se agitó en vortex hasta disolución de la grasa.
- Se añadieron 0.2 mL de disolución de KOH 2 M en metanol y se homogenizó utilizando un agitador tipo vortex durante 10 segundos.
- Se dejó en reposo durante 10 minutos a temperatura ambiente.
- Posteriormente se centrifugaron durante 5 min a 3500 rpm o hasta clarificación total.
- Se recuperó la fase superior con pipeta Pasteur y se colocó en un vial de cromatografía 1 mL del extracto.

Los ácidos grasos metilados que se derivatizaron para realizar la determinación del perfil de lípidos por cromatografía de gases se conservaron a -80 °C, hasta su análisis.

Una vez que la grasa extraída de la carne ovina pasó por el proceso de metilación básica en frío, se inyectó 1 µL del extracto con los FAMEs en un cromatógrafo de gases marca Bruker modelo SCION TQ/QS equipado con inyector en columna y un detector de ionización de flama (FID), además de una columna capilar de polietilenglicol (BR-SWax) (30 m de longitud x 0.25 mm de diámetro interno x 0.25 mm de grosor). Se utilizó helio como gas portador a una presión constante de 10 psi. Las condiciones de la rampa de temperatura

fueron: temperatura inicial de 180 °C por 1 min, 235 °C a 2 °C/min y a 250 °C a 5 °C/min durante 10 min. Las temperaturas del inyector y el detector fueron de 250 °C y 280 °C respectivamente.

Una vez terminado el programa de separación de ácidos grasos, se identificaron cada uno de ellos por la comparación de los tiempos de retención obtenidos en las muestras con los obtenidos en un estándar de 37 ácidos grasos (Supelco 37 component FAME Mix, varied conc. In dichloromethane, part number: CRM47885) que fueron sometidos a las mismas condiciones cromatográficas. Los resultados se expresaron como porcentaje del total de ácidos grasos analizados.

3.3.3.4. Determinación de compuestos fenólicos de las dietas experimentales.

Primeramente, se obtuvieron extractos siguiendo la metodología establecida por Tejerina *et al.*, (2012):

- Se pesaron 0.5 g de muestra cárnica finamente picada en tubos de plástico para centrifugación de 50 mL.
- Se agregaron 10 mL de metanol/agua (80:20 v/v) y se mezcló con la muestra utilizando un homogeneizador.
- Se dejó reposar la muestra homogenizada durante 24 horas en un ambiente oscuro.
- Se centrifugo a 2000 rpm durante 2 minutos.
- Por último, se filtraron utilizando jeringa y filtro de jeringa con poros de 0.45 µm.

Los compuestos fenólicos totales de cada una de las muestras se cuantificaron espectrofotométricamente al reaccionar con el reactivo de Follin-Ciocalteu en un medio básico, siguiendo el método propuesto por Soong and Barlow (2004):

- Se agregaron 200 µL de extracto con una dilución 1:250 en microtubos para centrifugación con capacidad de 2 mL.
- Se agregaron 1000 µL de solución de Follin-Ciocalteu al 10%.
- Se agregaron 800 µL de carbonato de sodio al 7.5%.
- Se mezclaron utilizando un agitador tipo vortex.
- Se dejaron reposar en ambiente oscuro durante 30 minutos.
- Se realizaron las lecturas espectrofotométricas utilizando cubetas “vis” a una longitud de onda de 765 nanometros.

Los compuestos fenólicos totales se cuantificaron usando una curva estándar de ácido gálico (5 a 100 mg/ L). Los resultados se expresaron como µg de equivalente de ácido gálico (GAE)/gramo de materia fresca.

3.3.3.5. Determinación de actividad total antioxidante de las dietas experimentales.

Para determinar la actividad total antioxidante, se obtuvieron extractos lipofílicos e hidrofílicos de cada una de las muestras siguiendo el método descrito por Folch *et al.*, (1957) con algunas modificaciones (Hernández, 2016):

- Se pesaron 5 g de muestra en tubos de plástico para centrifugación de 50 mL.
- Se agregaron 25 mL de cloroformo/metanol (2:1) y se mezcló con la muestra utilizando un homogeneizador.
- Se centrifugo a 3000 rpm durante 10 minutos.
- Utilizando un embudo y papel filtro se recuperó la fracción líquida en un embudo de decantación.
- Se volvió a agregar 25 mL de cloroformo/metanol (2:1 v/v) a la fracción sólida presente en el tubo para centrifugación y se homogeneizó en un agitador tipo vortex.

- Se centrifugo a 3000 rpm durante 10 minutos nuevamente.
- Utilizando un embudo y papel filtro se recuperó la fracción líquida en el embudo de decantación.
- Al término de la filtración se agregaron 15 mL de una solución de NaCl al 0.75% y se agitaron vigorosamente los embudos de decantación. Se dejaron decantar durante 12 h.
- Se recuperó la fase orgánica o clorofórmica filtrando a través de sulfato sódico anhidro y posteriormente se recuperó la fase acuosa o metanólica.

La fase orgánica fue usada para el ensayo de determinación de actividad total antioxidante lipofílica. Por otro lado, la fase acuosa se utilizó para la determinación de actividad total antioxidante hidrofílica.

La actividad antioxidante de los extractos se determinó mediante un método espectrofotométrico que permite valorar la inhibición del radical cromógeno ABTS⁺ (radical catión de 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid) descrito por Re *et al.* (1999):

- Se agregaron 20 µL de extracto cárnico en tubos de ensayo.
- Se agregaron 2000 µL del radical (ABTS + Persulfato de potasio diluido en etanol).
- Se mezclaron utilizando un agitador tipo vortex.
- Se dejaron reposar en ambiente oscuro durante 6 minutos.
- Se realizaron las lecturas espectrofotométricas utilizando cubetas "vis" a una longitud de onda de 734 nanómetros.

Para expresar los resultados cuantitativamente, se preparó una curva patrón de Trolox a diferentes concentraciones (0.25, 0.5, 1, 1.5, y 2 mM). La capacidad antioxidante se estableció en equivalentes Trolox y se expresó en mg equivalentes de Trolox (ET)/gramo de dieta en base seca.

3.4. Animales.

Los borregos que se sometieron a experimentación fueron borregos machos enteros en etapa de finalización, los cuales fueron encastados de las razas Pelibuey- Katahdin. Durante el periodo experimental los animales fueron alojados en corrales individuales con piso de cemento y techados provistos de un comedero y bebedero propio.

Se utilizaron 30 borregos clínicamente sanos en etapa de finalización con diferentes pesos iniciales, debido a la variable del tiempo, previo al sacrificio de acuerdo al diseño experimental factorial: 41 ± 2 kg (28 días previo al sacrificio), 33 ± 2 kg (56 días previo al sacrificio) y 25 ± 2 kg (84 días previo al sacrificio). El alimento y el agua se ofrecieron *ad libitum*. Una vez cumplido el periodo de alimentación señalado se procedió al sacrificio de los animales en el rastro de ovinos de la Asociación Ganadera Local Especializada en Ovinos del Centro del Estado de Nayarit siguiendo los protocolos establecidos por la NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.

3.5. Evaluaciones de las variables dependientes.

3.5.1. Toma de muestras.

Inmediatamente después del sacrificio de cada animal se tomaron tres muestras de aproximadamente 0.5 g del interior del músculo *Longissimus dorsi* para el análisis de la expresión génica. Las muestras de tejido se colocaron en criotubos de 2.0 mL y se conservaron con una solución de estabilización de ARN (RNA^{later}® Stabilization Solution), posteriormente se tomó una porción aproximada de 50 g de músculo *Longissimus dorsi* para la determinación del perfil de lípidos intramusculares y la composición antioxidante de la carne.

Después de la toma de muestras, estas se trasladaron al laboratorio de Bromatología y Nutrición animal de la U.A.A. de la UAN, en donde se almacenaron a -20 °C, hasta su posterior análisis.

3.5.2. Determinación de la cantidad y composición de lípidos de la carne.

3.5.2.1. Determinación de grasa total intramuscular.

Se obtuvo la grasa intramuscular de las muestras de carne provenientes del músculo *Longissimus dorsi* mediante la utilización de solventes (Cloroformo-metanol) siguiendo el método descrito por Folch *et al.* (1957), con algunas modificaciones (Hernández, 2016). Los resultados se expresaron en porcentaje de grasa total.

La grasa recuperada se mezcló con cloroformo a un volumen conocido (5 mL) para conservarla a -80 °C, para posteriormente determinar del perfil de lípidos por cromatografía de gases.

3.5.2.2. Metilación básica de ácidos grasos.

La grasa recuperada de las muestras cárnicas se utilizó para la preparación de los FAMES (fatty acid methyl esteres) mediante un proceso de metilación en frío siguiendo el protocolo de Cert *et al.* (2000).

En un vial de cromatografía se adicionó 1 mL de la muestra con los FAMES obtenidos. El cual se conservó a -80 °C, hasta su análisis.

3.5.2.3. Análisis del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.

Una vez que la grasa extraída de la carne ovina paso por el proceso de metilación básica en frío, se inyectó 1 µL del extracto con los FAMES en un

cromatógrafo de gases marca Bruker modelo SCION TQ/QS equipado con inyector en columna y un detector de ionización de flama (FID), además de una columna capilar de polietilenglicol (BR-SWax) (30 m de longitud x 0.25 mm de diámetro interno x 0.25 mm de grosor). Se utilizó helio como gas portador a una presión constante de 10 psi. La rampa de temperatura del horno fue de 50 °C hasta 230 °C. La temperatura del inyector fue de 250 °C y la del detector de 280 °C.

Una vez terminado el programa de separación de ácidos grasos, se identificaron cada uno de ellos por la comparación de los tiempos de retención obtenidos en las muestras con los obtenidos en un estándar de 37 ácidos grasos (Supelco 37 component FAME Mix, varied conc. In dichloromethane, part number: CRM47885) que fueron sometidos a las mismas condiciones cromatográficas. Los resultados se expresaron como porcentaje del total de ácidos grasos analizados.

3.5.3. Evaluación antioxidante de la carne.

3.5.3.1. Determinación de compuestos fenólicos totales.

Los compuestos fenólicos totales de cada una de las muestras cárnicas se cuantificaron espectrofotométricamente al reaccionar con el reactivo de Follin-Ciocalteu en un medio básico, siguiendo el método propuesto por Soong and Barlow (2004), a partir de un extracto cárnico obtenido mediante el protocolo descrito por Tejerina *et al.* (2012).

Los compuestos fenólicos totales se cuantificaron usando una curva estándar de ácido gálico con diferentes concentraciones (5 a 100 mg/ L). Los resultados se expresaron como µg de ácido gálico (GAE)/gramo de carne fresca.

3.5.3.2. Determinación de actividad total antioxidante.

Para determinar la actividad total antioxidante, se obtuvieron extractos lipofílicos e hidrofílicos de cada una de las muestras cárnicas siguiendo el método descrito por Folch *et al.* (1957) con algunas modificaciones (Hernández, 2016). La fase orgánica fue usada para el ensayo de determinación de actividad antioxidante lipofílica. Por otro lado, la fase acuosa se utilizó para la determinación de actividad antioxidante hidrofílica.

La actividad antioxidante de los extractos se determinó siguiendo la metodología descrita por Re *et al.* (1999) mediante pruebas de inhibición del radical cromógeno ABTS+ (radical catión de 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) medidas en un espectrofotómetro.

Para expresar los resultados cuantitativamente, se preparó una curva patrón de Trolox a diferentes concentraciones (0.25, 0.5, 1, 1.5, y 2 mM). La capacidad antioxidante se estableció en equivalentes Trolox y se expresó en mg ET/g de carne fresca.

3.5.4. Expresión de los genes PPARG, SCD, FASTN, ACACA, y SREBF1.

3.5.4.1. Purificación de ARN.

Primeramente, se pesaron 75 mg de cada muestra de *Longissimus dorsi*, posteriormente mediante la utilización del kit Dircet-zol™ RNA MiniPrep (Zymo Research Corp.) se realizó la extracción y purificación de ARN total siguiendo el protocolo del fabricante el cual consta de dos pasos: Preparación de la muestra y purificación del ARN.

Posteriormente se revisó la integridad de las moléculas purificadas de ARN total, mediante electroforesis en un gel de agarosa ultrapura (Invitrogen) a una

concentración de 1.5% y tinción con bromuro de etidio a una concentración de 10 mg/mL. También se cuantificó la concentración y evaluó la pureza de las moléculas de ARN total por espectrofotometría mediante el uso del equipo Thermo Scientific NanoDrop 2000c.

3.5.4.2. Síntesis de DNA complementario.

Una vez realizada la purificación del ARN total de cada una de las muestras, se tomaron 1000 ng de ARN total para la posterior generación de moléculas de ADN complementario (cADN), esto se realizó mediante una reacción de retrotranscripción utilizando el kit Thermo Scientific Maxima H Minus First Strand cDNA Synthesis Kit with dsDNase, siguiendo las instrucciones recomendadas por el fabricante.

Después se revisó la integridad de las moléculas de cDNA purificado, mediante electroforesis en un gel de agarosa ultrapura (Invitrogen) a una concentración de 3% y tinción con bromuro de etidio a una concentración de 10 mg/mL. También se cuantificó la concentración y evaluó la pureza de las moléculas de cDNA por medio de espectrofotometría utilizando el equipo Thermo Scientific NanoDrop 2000c. Una vez determinada la concentración de ácido nucleico presente en cada una de las muestras, se realizaron alícuotas de un volumen de 25 μ L y con una concentración de 5 ng/ μ L de cDNA y se conservaron a -20 °C para su uso posterior en el análisis de expresión génica.

3.5.4.3. Análisis de reacción en cadena de la polimerasa.

3.5.4.3.1. Elaboración de primers.

Empleando secuencias específicas de mRNA de los genes ovinos; PPARG, SCD, FAS, ACACA, ARN S18 y SREBF1 publicadas en el National Center for Biotechnology Information (NCBI) y manuscritos científicos que describen el

uso de primers específicos de estos genes (Castro, 2014; Dervishi *et al.*, 2011), se realizaron búsquedas de homología para confirmar la identidad de los fragmentos amplificados entre cada uno de los primers y cada una de las secuencias de ARN mensajero de los genes de estudio, esto se realizó mediante el uso de los softwares bioinformáticos Clone Manager Suite 7 y BLAST (NCBI). Posteriormente se elaboraron los primers (INVITROGEN) que se describen en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Genes y secuencia de los primers empleados en el ensayo de expresión relativa de los genes que participan en distintas rutas del metabolismo de lípidos.

Genes	Primers Forward y Reverse (5' → 3')	Amplicón	TA	GB Número
ACACA	F-CATGGAAATGTACGCGGACC R-GGTGGTAGATGGGAAGGAGG	230 pb	62 °C	NM_001009256
FASN	F-ACAGCCTCTTCTGTTTGACG R-CTCTGCACGATCAGCTCGAC	226 pb	64 °C	XM_015098375
PPARG	F-CATTTCTGCTCCGCACTAC R-GGAACCCTGACGCTTT	233 pb	60 °C	NM_001100921.1
SCD	F-TGCTGACAACTTATCTGGATGC R-AAGGAATCCTGCAAACAGCTA	179 pb	56 °C	JX889613
SREBF1	F-CCAGCTGACAGCTCCATTGA R-TGCGCGCCACAAGGA	80 pb	64 °C	XM_015098336
ARN S18	F-GGCCTCACTAAACCATCAA R-TAGAGGGACAAGTGGCGTTC	98 pb	56-64 °C	XM_012100710

TA: Temperatura de alineación; F: Forward Primer; R: Reverse Primer, GB: Gen Bank; pb: pares de bases.

3.5.4.3.2. Optimización y estandarización de las condiciones de PCR.

Previo al análisis de PCR en tiempo real, se efectuó un ensayo de PCR de punto final para cada uno de los genes que se van a evaluar, con la finalidad de optimizar las condiciones de amplificación de los primers y verificar los productos de amplificación.

Este ensayo se llevó a cabo en un termociclador de gradiente (T100™ Thermal Cycler, BIO-RAD) utilizando 3 µL cDNA, 8.5 µL de agua libre de nucleasas, 0.1 µL de Taq DNA polimerasa (Terra PCR Direct Polymerase Mix, CLONTECH), 1 µL de los primers Forward y Reverse y 3.4 µL buffer con MgCl₂ y dNTPs (2X Terra PCR Direct Buffer, CLONTECH), obteniendo un volumen final de 16 µL por reacción. Se llevó a cabo un gradiente de temperaturas, donde se verificaron distintas temperaturas de alineación en un rango de 56 hasta 66 °C.

Los productos de amplificación se separaron mediante electroforesis en un gel de agarosa ultrapura (INVITROGEN) a una concentración del 3% y tinción de bromuro de etidio a una concentración de 10 mg/ mL.

De los resultados obtenidos en este ensayo, se eligió el protocolo de mayor optimización para determinar la expresión de los genes en el termociclador de tiempo real.

3.5.4.3.3. Análisis de la expresión génica mediante PCR en tiempo real.

Las reacciones de PCR cuantitativa se llevaron a cabo en un termociclador de tiempo real (StepOnePlus Real Time PCR System, Applied Biosystems). Para este ensayo se utilizaron: 6 µL (30 ng/ µL) de cDNA, 8 µL agua libre de ácidos nucleicos, 5 µL de SYBR Green/ROX qPCR Master Mix (2x) (Fermentas) y 1 µL de primers (Forward y Reverse) de uno de los genes de interés, obteniendo un volumen final de 20 µL por reacción. Se llevaron a cabo, en ensayos

simultáneos en una misma corrida en placa para PCR en tiempo real, seis repeticiones por cada tratamiento usando los primers específicos de uno de los genes de interés (PPARG o SCD o FASN o ACACA o SREBF1) y tres repeticiones por cada tratamiento usando los primers del gen de referencia (proteína ribosomal S18). Se utilizó cDNA agrupado de todas las muestras de un mismo tratamiento para los ensayos descritos anteriormente. Este procedimiento fue replicado, de tal manera que se realizaron los ensayos simultáneos de cada uno de los genes de interés (PPARG, SCD, FASN, ACACA, FABP3 y SREBF1) y el gen de referencia (proteína ribosomal S18) a todos los tratamientos.

Las condiciones de amplificación estuvieron compuestas por: Un paso inicial de 5 min a 95 °C, seguido de 45 ciclos de 15 s a 95 °C y 1 min a la temperatura de alineación específica del primer en uso, descritos en la Tabla 7 (56, 60, 62 ó 64 °C). Por último, se realizó un análisis de la curva del melt compuesto por una rampa de temperatura que va de los 64 a los 95 °C aumentando 1 °C cada 5 s.

3.5.4.3.4. Análisis de los datos para la obtención de la expresión relativa de los genes.

Primeramente, se obtuvieron los valores de Ct (ciclo umbral) de todas las repeticiones de los ensayos simultáneos de cada uno de los genes de interés (PPARG, SCD, FASN, ACACA, FABP3 y SREBF1) y el gen de referencia (proteína ribosomal S18) de cada uno de los diez tratamientos.

La cuantificación de la expresión relativa de los genes se determinó por el método descrito por Livak y Schmittgen (2001). Este método determina un ratio de expresión relativa de un gen de interés calculado con base a la diferencia de los valores de Ct de una muestra desconocida (tratamientos experimentales) *versus* una muestra control y expresada en comparación a un gen de

referencia. La siguiente ecuación muestra el modelo matemático del cual se obtiene el ratio de expresión relativa de los genes.

$$\text{Ratio} = 2^{-((C_t \text{ del gen de interés del tx} - C_t \text{ del gen de referencia del tx}) - (C_t \text{ del gen de interés del tx control} - C_t \text{ del gen de referencia del control}))}$$

La especificidad de los productos de amplificación y la presencia de dímeros de los primers se determinaron mediante el melting de las curvas estándar.

3.6. Análisis estadístico.

Se procesaron los datos de las variables dependientes individualmente. Se llevó a cabo un análisis de varianza utilizando un modelo completamente al azar con arreglo factorial más un tratamiento control (3 x 3 + 1). Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) se hizo una prueba de comparación de medias por el método de Dunnett para contrastar diferencias entre el control y los demás tratamientos. La normalidad de los datos se determinó mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. Se utilizó el programa SAS versión 9 (2004).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades nutricionales y antioxidantes de las dietas utilizadas en la alimentación de ovinos en finalización.

4.1.1. Composición química de las dietas experimentales.

La composición química de las dietas experimentales se puede apreciar en el Cuadro 8, donde el análisis químico reveló que la dieta A (0%) presentó los valores más elevados de humedad. En lo que respecta al contenido de cenizas totales, la dieta A y la dieta D (10%) son las que presentan los valores más altos respectivamente. Las dietas que presentaron mayor cantidad de proteína fueron las dietas D y B (2.5%) respectivamente. También se puede apreciar que el contenido de extracto etéreo se incrementa directamente proporcional conforme a la cantidad de harina de aguacate presente en las dietas. La cantidad de lípidos que aportan las dietas C (5%) y D resulta interesante porque al ser una fuente rica en ácidos grasos monoinsaturados por la inclusión de harina de aguacate en la dieta, puede facilitar el metabolismo y la biodisponibilidad de energía; además de que pueden favorecer la salud por sus propiedades benéficas demostradas (De Smet and Vossen, 2016; Jiang and Xiong, 2016).

Cuadro 8. Composición química proximal de las dietas experimentales: control, 2.5, 5 y 10% de inclusión de harina de aguacate.

Análisis	A (Control)	B (2.50%)	C (5%)	D (10%)	E.E.
Humedad ^A	14.523 ^a	12.123 ^c	11.176 ^d	13.086 ^b	0.373
Cenizas ^A	8.089 ^{ab}	7.468 ^c	8.008 ^b	8.436 ^a	0.111
Proteína cruda ^A	14.602 ^{bc}	15.127 ^{ab}	14.009 ^c	15.676 ^a	0.237
Extracto etéreo ^A	4.191 ^c	5.51 ^b	7.991 ^a	8.659 ^a	0.43
Fibra cruda ^A	9.388 ^{ab}	9.786 ^a	7.051 ^b	7.588 ^{ab}	0.417

^A : Expresado como porcentaje en base seca; E.E.: Error estándar; literales distintas por fila (^{a-c}), indican diferencias estadísticas significativas (P< 0.05).

Se han reportado experimentos donde se utilizó aguacate en la alimentación animal (Skenjana *et al.*, 2006; Grageola, 2009; Franquez *et al.*,2013; Hernández, 2016). Sin embargo, únicamente Hernández (2016), presenta valores de referencia en la composición química de las dietas adicionadas con pasta fresca de aguacate que se emplearon. En estas dietas adicionadas con pasta fresca de aguacate se observó la cuantificación de lípidos totales proporcionales a la cantidad de aguacate adicionado, lo cual es similar a lo ocurrido con las dietas adicionadas con harina de aguacate del presente experimento. Por otro lado, no existen valores de referencia para la composición química de dietas adicionadas con el fruto entero del aguacate empleadas para la alimentación ovina.

4.1.2. Composición de los lípidos de las dietas experimentales.

En el Cuadro 9 se observa que no hubo diferencias significativas en la sumatoria total en el perfil de los ácidos grasos saturados (AGS) de las dietas experimentales, pero de manera particular, hubo diferencias significativas entre los ácidos grasos saturados de manera muy variada, según correspondía a cada dieta.

Cuadro 9. Perfil lipídico de las dietas experimentales con diferentes inclusiones de harina de aguacate (0, 2.5, 5 y 10% de inclusión de harina de aguacate).

Ácido graso^A	A (0%)	B (2.5%)	C (5%)	D (10%)	E.E.
C14	0.274 ^a	0.185 ^b	0.179 ^b	0.202 ^b	0.014
C16	15.601	16.403	17.860	18.825	0.573
C17	0.134 ^b	0.381 ^a	0.144 ^b	0.000 ^c	0.051
C18	2.884 ^a	3.071 ^a	2.705 ^{ab}	2.109 ^b	0.144
C20	1.160 ^a	0.776 ^b	0.695 ^b	0.708 ^b	0.073
C22	0.469 ^a	0.292 ^b	0.252 ^b	0.280 ^b	0.032
C23	0.000	0.750	0.608	0.640	0.111
C24	0.000	0.278	0.261	0.294	0.045
AGS	20.522	22.837	22.704	23.104	0.573
C16:1	0.786 ^b	0.00	0.00	4.767	0.747
C18:1	28.837	33.365	37.861	35.493	1.41
C20:1	0.255 ^b	0.327 ^a	0.249 ^b	0.219 ^b	0.015
AGMI	29.879 ^b	34.228 ^{ab}	38.310 ^{ab}	40.480 ^a	1.674
C18:2	42.822	37.494	35.526	32.574	1.577
C18:3(n-6)	6.600 ^a	5.442 ^a	3.459 ^b	3.771 ^b	0.491
AGPI	49.457 ^a	42.935 ^{ab}	38.986 ^{ab}	36.345 ^b	2.028
%AGI	79.336	77.163	77.296	76.825	1.423
AGI/AGS	3.866	3.379	3.404	3.325	0.104
%n-9	29.092	34.228	38.310	35.712	1.427
%n-6	49.422 ^a	42.935 ^{ab}	38.986 ^{ab}	36.345 ^b	2.022

^A: Expresado como porcentaje del total de ácidos grasos analizados; AGS: Ácidos grasos Saturados; AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados; AGI: Ácidos grasos insaturados; n-9: Ácidos grasos Omega-9; n-6: Ácidos grasos Omega-6; E.E.: Error estándar; P< 0.05.

En cuanto al porcentaje de AGMI las dietas con inclusión de aguacate presentaron una mayor cantidad que la dieta A, como era de esperarse y como consecuencia de los altos porcentajes de ácidos grasos monoinsaturados presentes en el aguacate como el ácido palmitoleico (C16:1 n-7) y el ácido gadoleico (C20:1) con diferencias significativas entre tratamientos y el ácido oleico (C18:1 n-9) sin diferencias significativas. Por contraparte, la dieta A se caracterizó por presentar mayor cantidad de AGPI (49.457%), lo anterior se debió a la dieta A contiene mayor proporción de pastos y forrajes, los cuales se caracterizan por tener principalmente ácido linoleico (C18:2 n-6) y ácido α -linolénico (C18:3 n-3) (Wood *et al.*, 2008).

Los perfiles de ácidos grasos de las dietas con inclusión de pasta fresca de aguacate en los niveles de 0, 10, 20 y 30% utilizadas por Hernández (2016), presentaron valores de la sumatorias de AGS, AGMI y AGPI similares a las sumatorias de los perfiles obtenidos por las dietas A, B, C y D adicionadas con harina de aguacate. Por lo tanto, se puede entender que el proceso utilizado para el secado de la pasta fresca de aguacate no genera cambios importantes en el perfil de ácidos grasos de dietas adicionadas con aguacate.

Es importante mencionar que anteriormente se han realizado experimentos, en los cuales se ha utilizado el aguacate en la alimentación porcina (Franquez *et al.*, 2013; Hernández-López *et al.*, 2016), en los cuales se ha apreciado que la modificación en la composición lipídica de la dieta influye en la composición de lípidos en la carne; sin embargo, cuando se habla de especies poligástricas, no existen valores de referencia que comprueben este fenómeno al utilizar aguacate.

4.1.3. Valor antioxidante de las dietas experimentales.

4.1.3.1. Cantidad de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante presente en las dietas experimentales.

Existen numerosas evidencias científicas sobre la mejora de la estabilidad oxidativa de la carne mediante la incorporación de antioxidantes ingeridos en la dieta de los animales de producción (Falowo *et al.*, 2014; Hernández-López *et al.*, 2016b). En el Cuadro 10 se muestran los valores de la concentración de compuestos fenólicos extraídos de cada una de las dietas experimentales, así como su respectiva actividad antioxidante. La dieta D manifestó significativamente una mayor cantidad de compuestos fenólicos totales (3.983 mg de equivalentes de ácido gálico /g de materia seca) que las otras dietas. Sin embargo, la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos extraídos no manifestó diferencias significativas ($P>0.05$) entre ninguna de las dietas experimentales. Con base en lo anterior, se puede considerar que la medición de compuestos fenólicos totales no se correlaciona significativamente con la determinación de actividad antioxidante como lo menciona Rodríguez (2011), esto puede deberse a que el método de determinación de compuestos fenólicos totales puede presentar interferencias con otros compuestos de la dieta o que no todos los compuestos fenólicos detectados poseen la propiedad de reaccionar contra los radicales libres de los procesos oxidativos.

Por otro lado, la abundante presencia de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, tocoferoles y flavonoides en la alfalfa (Rafińska *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2018), la cual es el principal ingrediente de todas las dietas experimentales, podría provocar la nula diferencia existente entre la actividad antioxidante que manifiestan las dietas experimentales a pesar de la inclusión de distintos niveles de harina de aguacate, caracterizada por contener compuestos fenólicos, tocoferoles y carotenoides con actividad antioxidante (Rodríguez *et al.*, 2011, Hernández *et al.*, 2016; Hernández, 2017).

Cuadro 10. Determinación de compuestos fenólicos totales y su actividad antioxidante de las dietas experimentales (0, 2.5, 5 y 10% de inclusión de harina de aguacate).

	A	B	C	D	E.E.
	(Control)	(2.5%)	(5%)	(10%)	
CFT (mg GAE/g M.S)	3.421 ^b	3.531 ^b	3.175 ^b	3.983 ^a	0.113
AOX (ABTS: mg Trolox/g Matéria seca)	10.096	9.975	9.931	10.406	0.23

CFT: compuestos fenólicos totales; AOX: actividad antioxidante; GAE: equivalentes de ácido gálico; E.E.: Error estándar; P< 0.05.

Es importante mencionar que no se encontraron reportes para valores de referencia en los que se haya determinado la cantidad de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en alimentos con inclusión de harina de aguacate destinado a ovinos en la etapa de finalización.

4.2. Efecto de la alimentación en el perfil de ácidos grasos y grasa total intramuscular de carne ovina proveniente del músculo *Longissimus dorsi*.

En el cuadro 11 se resumen los resultados de la cantidad de grasa intramuscular y el perfil de ácidos grasos de carne proveniente del músculo *Longissimus dorsi* de los ovinos alimentados con diferentes tiempos y niveles de harina de aguacate.

Los borregos de todos los tratamientos presentaron valores significativamente similares de grasa intramuscular. Es importante mencionar que los reportes de Enser *et al.* (1996), presentan un valor promedio de 4.9% de grasa intramuscular de carne de lomo de borrego comprada en diferentes supermercados; por lo tanto, todos los valores obtenidos en el presente experimento están por debajo del valor reportado anteriormente y también

cumplen con el requerimiento para considerarse carne magra sugerido por Food Advisory Committee (1990), el cual establece que la carne que contiene menos del 5% de lípidos totales podría considerarse magra. Por otro lado, actualmente no se tienen valores de referencia en los porcentajes de grasa intramuscular de carne ovina proveniente de animales alimentados con aguacate.

En cuanto a la proporción de ácidos grasos saturados; se encontraron diferencias significativas para el ácido láurico entre el tratamiento control y el tratamiento 8 (5%- 84 días), teniendo una mayor cantidad de grasa intramuscular el tratamiento 8. El ácido araquídico también presentó diferencias significativas entre el tratamiento control y el tratamiento 6 (5%- 56 días) presentado los animales del tratamiento 6 los valores más altos. Otro ácido graso saturado que manifestó diferencias significativas, debido al alza en su valor porcentual en el tratamiento 2 (2.5%- 28 días) respecto al tratamiento control fue el ácido heneicosanoico. Respecto a los ácidos grasos monoinsaturados, ninguno de estos presentó diferencias significativas entre los tratamientos y el tratamiento control. En cuanto a los ácidos grasos poliinsaturados; el ácido linolelaidico y el ácido α -linolénico presentaron diferencias significativas; en ambos ácidos grasos el tratamiento 6 (5%- 56 días) presentó valores más altos respecto a los demás tratamientos.

Cuadro 11. Porcentaje de grasa intramuscular y perfil de ácidos grasos de carne proveniente del músculo *Longissimus dorsi* en ovinos alimentados con diferentes tiempos e inclusiones de harina de aguacate.

	Tx 1	Tx 2	Tx 3	Tx 4	Tx 5	Tx 6	Tx 7	Tx 8	Tx 9	Tx 10	E.E.
% GI^B	3.55	3.24	3.51	3.11	3.01	2.15	4.31	3.41	3.90	2.33	0.15
%Ácido graso^A											
C12	0.10	0.13	0.23	0.16	0.01	0.08	0.22	0.31*	0.17	0.09	0.01
C14	2.69	2.55	3.81	3.15	3.64	1.65	4.14	3.77	2.95	2.46	0.18
C15	0.27	0.23	0.29	0.26	0.29	0.15	0.29	0.35	0.30	0.2	0.01
C16	26.97	20.90	31.53	26.46	30.15	20.70	30.86	30.04	27.54	24.17	1.03
C17	1.33	0.74	1.29	0.79	0.63	1.34	1.40	0.78	0.8	0.82	0.10
C18	11.20	6.13	10.18	9.60	8.53	8.35	9.05	12.76	11.82	8.70	0.66
C20	0.05	0.03	0.02	0.43	0	1.34*	0.07	0.10	0.05	0.06	0.11
C21	0.66	11.88*	0.49	0.96	1.00	2.59	0.04	0.42	1.01	1.02	0.94
C22	0.00	2.21	0.77	0.62	0.64	1.75	0.02	0	0.01	1.00	0.20
C23	0.14	2.55	0.09	0.20	0.34	3.36	0.20	0.19	0.18	0.69	0.30
AGS	45.02	48.72	49.20	41.44	45.48	42.81	48.03	48.87	45.16	46.12	0.70
C14:1	0.22	0.23	0.3	0.26	0.33	0.13	0.38	0.30	0.25	0.13	0.01
C16:1	2.13	1.59	2.70	2.19	2.62	2.00	3.26	1.92	1.69	1.87	0.12
C17:1	0.59	0.38	0.54	0.53	0.47	0.60	0.56	0.49	0.47	0.38	0.02
C18:1	41.29	27.22	40.20	40.36	42.36	24.45	38.59	41.44	45.25	35.70	1.76
C20:1	0.86	0	0.04	1.09	0.48	0.03	0.06	0.08	0.11	0.17	0.13
C22:1	1.44	2.38	0.85	1.26	1.04	3.21	1.15	0.62	0.72	1.33	0.20
C24:1	0.63	0.12	0.14	0.22	0.14	3.28	0.28	0.26	0.18	0.39	0.27
AGMI	49.85	32.87	43.11	45.89	47.47	33.74	45.72	45.22	49.01	40.02	1.55
C18:2c	2.85	2.52	3.33	3.91	3.80	4.53	3.32	3.28	3.36	3.04	0.16
C18:2t	0.08	0.07	0.19	0.15	0.14	0.74*	0.12	0.10	0.09	0.10	0.04
C18:3	0.29	0.59	0.22	0.28	0.18	3.95*	0.23	0.32	0.26	0.22	0.19
C20:2	0.10	3.70	0.09	1.36	1.07	3.86	0.13	0.14	0.11	1.21	0.4
C20:3	1.44	2.38	0.85	1.26	1.04	3.21	1.15	0.62	0.72	1.33	0.20
C22:6	0.24	0	0	0.01	0.01	1.81	0.03	0.04	0.02	0.02	0.14
AGPI	7.75	18.40	4.39	12.66	7.03	23.43	7.65	5.90	5.82	19.99	1.97
AGS/AGI	1.22	1.06	1.03	1.43	1.20	1.34	1.08	1.04	1.21	1.16	0.03
n-6	6.78	14.48	4.48	9.11	6.74	22.22*	7.78	4.99	5.31	9.15	1.27
n-3	1.84	6.47	0	0.01	0.64	4.57	0.05	0.04	0.02	11.52	1.43
n-9	31.86	30.65	41.24	42.96	44.04	24.94	40.09	42.492	46.56	37.62	1.76

^A: Expresado como porcentaje del total de ácidos grasos analizados; GI^B: Grasa intramuscular expresada como g/100 g de carne fresca; Tx 1: Control; Tx 2: 2.5%-28 días; Tx 3: 5%-28 días; Tx 4: 10%-28 días; Tx 5: 2.5%-56 días; Tx 6: 5%-56 días; Tx 7: 10%-56 días; Tx 8: 2.5%-84 días; Tx 9: 5%-84 días; Tx 10: 10%-84 días; AGS: Ácidos grasos saturados; AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados; n-3: Ácidos grasos omega-3; n-6: Ácidos grasos omega 6; Ácidos grasos omega 9; *: p ≤ 0.05.

A pesar de las diferencias significativas encontradas en algunos ácidos grasos (láurico, araquídico, heneicosanoico linolelaídico y el α -linolénico), las sumatorias de ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados, ácidos grasos poliinsaturados, ácidos grasos insaturados, ácidos grasos omega 3 y ácidos grasos omega 9 fueron estadísticamente similares ($p>0.05$) entre los diferentes tratamientos. La única excepción se observa en la sumatoria de ácidos grasos omega 6, en donde la carne ovina perteneciente al tratamiento 6 (5%- 56 días) muestra una mayor cantidad de este tipo de ácidos grasos debido a la mayor proporción de ácido linolelaídico y ácido α -linolénico.

Los resultados del experimento realizado por Wood *et al.* (2004) en el que se analizó la grasa intramuscular de carne de lomo ovino comprada en diferentes supermercados son considerados como un valor de referencia de la proporción de los ácidos grasos que constituyen la grasa intramuscular en la carne ovina. El estudio reportó que los principales ácidos grasos presentes en la grasa ovina fueron el ácido palmítico (22.2%), el ácido esteárico (18.1%) y el ácido oleico (32.5%), representando el 72.8%. Por otro lado, en la carne ovina de la mayoría de los tratamientos (con excepción del tratamiento 2) formados por la interacción de diferentes tiempos y niveles de aguacate en la dieta, los ácidos grasos más abundantes son el ácido oleico, el ácido palmítico y el ácido esteárico. En conjunto estos ácidos grasos representan del 53.50 al 84.24% en los diferentes tratamientos, lo cual se asemeja al perfil de ácidos grasos mostrado Wood *et al.* (2003) y también al perfil de ácidos grasos de carne proveniente de ovinos con inclusión de aceite esencial de romero en su alimentación, el cual contiene como ácidos grasos mayoritarios al ácido oleico, palmítico y esteárico con 39, 24 y 18.4% respectivamente. Lo anterior fue publicado por Smeti *et al.* (2018), quienes concluyeron que el metabolismo lipídico ruminal no se ve afectado por la inclusión de aceite esencial de romero en la dieta.

Existen diferentes resultados referentes a la modificación de los ácidos grasos de la carne como consecuencia de la alimentación; se encuentran estudios donde sí se modificó el perfil de ácidos grasos de la carne y también están aquellos donde no se modificó la composición lipídica de la carne ovina mediante la alimentación Vasta *et al.* (2013) observaron que el uso de aceite esencial de artemisia afectó el perfil de ácidos grasos de la carne ovina; sin embargo, en el mismo experimento se encontró que el uso de aceite esencial de romero no afectó el perfil de la grasa ovina. Los autores explicaron que el contraste en los efectos de los dos aceites esenciales se debió a la diferencia en la composición química de los aceites, es decir, aunque los dos aceites esenciales son ricos en terpenos, los cuales se caracterizan por poseer gran actividad antimicrobiana; sin embargo, la efectividad de la actividad antimicrobiana de los terpenos es dependiente de la estructura química de la fracción isopreno y de la degradación que algunos terpenos pueden sufrir por parte de los microorganismos ruminales. También Chaves *et al.* (2008) estudiaron el efecto de la administración de cinamonaldehído, el ajo y aceite esencial de bayas de enebro en ovinos en crecimiento y reportaron que los perfiles de ácidos grasos de hígado y grasa dorsal no sufrieron modificaciones.

Cuando se planeó el reciente estudio se sustentó en el supuesto de que la suplementación de harina de aguacate en diferentes tiempos y niveles en la alimentación ovina podría interferir con el perfil de ácidos grasos de la carne. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente experimento sugieren que las interacciones de los diferentes tiempos y proporciones de harina de aguacate en la alimentación de borregos Pelibuey-Katahdin en la etapa de finalización no afectaron el proceso de lipólisis y biohidrogenación ruminal realizado por la microbiota ruminal (Castillo *et al.*, 2013). Este proceso juega un papel fundamental en la modificación lipídica de la carne ovina mediante la alimentación debido a que los ácidos grasos contenidos en los alimentos son convertidos a AGS y AGMI en el rumen. Este nulo efecto de los diferentes tratamientos sobre el proceso de biohidrogenación se puede atribuir a que la

actividad antimicrobiana imputada principalmente a compuestos bioactivos presentes en la semilla del aguacate no ocasionaron una reducción de la población microbiana ruminal que participa en el proceso de biohidrogenación (Chia and Dykes, 2010). Por lo tanto, el metabolismo ruminal de todos los animales se comportó de manera similar, confirmando que solamente de un 5 a 15% de los AGPI contenidos en el alimento, pasan a ser absorbidos a nivel intestinal para la incorporación en el tejido del animal (Wood *et al.*, 2008).

4.3. Impacto de la alimentación en la cantidad de compuestos fenólicos y actividad total antioxidante de carne ovina proveniente del músculo *Longissimus dorsi*.

En el Cuadro 12 se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación de compuestos fenólicos totales, así como de la actividad total antioxidante evaluada mediante la técnica de ABTS en carne ovina de ovinos alimentados con diferentes tiempos y niveles de harina de aguacate. Respecto a la concentración de compuestos fenólicos totales en la carne ovina, los tratamientos se presentaron estadísticamente similares, con la excepción del tratamiento 3 (5%- 28 días) el cual, presentó menor concentración de compuestos fenólicos totales. Lo anterior permite inferir que la concentración de compuestos fenólicos en la carne no tuvo una correlación con la cantidad de compuestos fenólicos presentes en las dietas experimentales.

Es importante mencionar que no se encontraron valores de referencia en la cantidad de compuestos fenólicos totales presentes en carne ovina proveniente de animales alimentados con aguacate. Sin embargo, en comparación con otras especies, los compuestos fenólicos que se obtuvieron en la carne ovina corresponden al doble de los valores obtenidos a partir de muestras cárnicas del músculo *Longissimus dorsi* de cerdo ibérico criado en montanera los cuales fueron 17.3 mg GAE/g (Tejerina *et al.*, 2012).

La actividad total antioxidante se determinó mediante la identificación de reacciones de oxidación por parte de compuestos presentes en los extractos; tanto de naturaleza hidrofílica, como lipofílica. Respecto a la actividad antioxidante hidrofílica, los tratamientos que presentaron significativamente una menor actividad fueron el 9 (5%- 84 días), 3 (5%- 28 días), 4(10%- 28 días), 7 (10%- 56 días) y el tratamiento 8 (2.5%- 84 días).

Cuadro 12. Cantidad de compuestos fenólicos y actividad total antioxidante en carne proveniente del músculo *Longissimus dorsi* de ovinos en etapa de finalización con diferentes tiempos e inclusiones de harina de aguacate en su etapa de finalización.

	CFT^A	AAH^B	AAL^C
Tx 1	0.347	0.082	0.046
Tx 2	0.344	0.061	0.074
Tx 3	0.303*	0.042*	0.037
Tx 4	0.337	0.047*	0.029
Tx 5	0.352	0.059	0.051
Tx 6	0.324	0.064	0.067
Tx 7	0.340	0.047*	0.126
Tx 8	0.314	0.048*	0.031
Tx 9	0.331	0.036*	0.025
Tx 10	0.336	0.057	0.055
E.E.	0.002	0.002	0.006

CFT^A: Compuestos fenólicos totales expresados en µg GAE/ g de materia fresca; AAH^B: Actividad antioxidante hidrofílica expresada en µg trolox/ g de materia fresca; AAL^C: Actividad antioxidante lipofílica expresada en µg trolox/ g de materia fresca; Tx 1: Control; Tx 2: 2.5%-28 días; Tx 3: 5%-28 días; Tx 4: 10%-28 días; Tx 5: 2.5%-56 días; Tx 6: 5%-56 días; Tx 7: 10%-56 días; Tx 8: 2.5%-84 días; Tx 9: 5%-84 días; Tx 10: 10%-84 días; E.E.: Error estándar; *: p ≤ 0.05.

4.4. Efecto de la alimentación en la expresión génica de ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD en el músculo *Longissimus dorsi* de ovinos alimentados con harina de aguacate en su etapa de finalización.

En el Cuadro 13 se muestran los resultados obtenidos de la determinación de ratios de expresión relativa de mRNA de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD de los tejidos obtenidos de los animales alimentados con los diferentes tratamientos (tiempo y porcentaje de inclusión). En cuanto a los genes que participan en la síntesis de ácidos grasos de *novo*; la expresión del gen ACACA fue significativamente mayor la expresión en los animales del tratamiento 9 (5%-56 días) en comparación al tratamiento control; la expresión del gen FAS se manifestó significativamente mayor en los tratamientos 3 (5%-28 días), 5 (2.5%- 56 días) y 7 (10%- 56 días). En los genes que codifican como factores de transcripción; la expresión del gen PPARG fue significativamente mayor en los tratamientos 4 (10%- 28 días) y 9 (5%- 84 días) respecto al tratamiento control. Referente a la expresión del gen SRBEF1, este se manifestó significativamente en mayor cantidad respecto al tratamiento control en el tratamiento 5 (2.5%- 56 días) y significativamente en menor en el tratamiento 2 (2.5%- 28 días) con relación al tratamiento control. La expresión del gen SCD manifestó una mayor expresión en los siguientes tratamientos: Tratamiento 5 (2.5%- 56 días), tratamiento 8 (2.5%- 84 días), tratamiento 9 (5%-84 días) y tratamiento 10 (10%- 84 días).

Cuadro 13. Ratios de expresión relativa de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD en el músculo *Longissimus dorsi* de ovinos alimentados con diferentes tiempos y niveles de harina de aguacate en su dieta.

	ACACA	FAS	PPARG	SRBEF1	SCD
Tx 1	1.22	1.066	1.081	1.012	1.055
Tx 2	0.577	0.254	0.432	0.179*	0.231
Tx 3	2.039	2.717*	1.49	1.111	1.058
Tx 4	1.679	2.233	2.33*	1.576	0.536
Tx 5	2.125	3.721*	1.182	1.762*	3.438*
Tx 6	1.414	1.764	0.385	0.79	0.773
Tx 7	2.186	2.718*	1.949	1.346	2.346
Tx 8	2.027	1.041	0.031	0.734	4.346*
Tx 9	3.015*	1.896	2.252*	0.886	7.723*
Tx 10	1.764	1.25	0.532	0.408	2.598*
E.E.	0.143	0.166	0.12	0.081	0.298

Tx 1: Control; Tx 2: 2.5%-28 días; Tx 3: 5%-28 días; Tx 4: 10%-28 días; Tx 5: 2.5%-56 días; Tx 6: 5%-56 días; Tx 7: 10%-56 días; Tx 8: 2.5%-84 días; Tx 9: 5%-84 días; Tx 10: 10%-84 días; E.E.: Error estándar; *: $p \leq 0.05$.

Con base en lo anterior, se puede ver que los animales que se alimentaron con inclusión de harina de aguacate durante 84 días presentaron significativamente mayor expresión del gen SCD, pero no una asociación con los valores de los perfiles de ácidos grasos de la carne probablemente porque el aumento en la desaturación fue muy pequeño como para ser detectable. Sin embargo, en general los resultados sugieren que hubo poca coordinación en la expresión de los genes estudiados pertenecientes al metabolismo de lípidos. En la literatura se pueden encontrar documentos que manifiestan resultados similares. Por ejemplo, se ha informado que la adición de 0.75% de colina con protección ruminal en la dieta de ovinos aumenta la expresión de FAS, pero disminuye la expresión de ACACA; esto contrasta cuando se adicionó 0.25%, ya que

aumentó la expresión de ambos genes debido a que están estrechamente vinculados en la síntesis de ácidos grasos de *novo* (Li *et al.*, 2015). Por otra parte, durante la alimentación de toros con soya, soya más monensina, grasa protegida del rumen y grasa protegida del rumen con monensina, ocasionó diferentes efectos en la expresión de los genes SCD y ACACA, pero mostraron efectos similares en la expresión de SCD y FABP4 (Oliveira *et al.*, 2014). También se han descrito diferencias en la expresión de los genes que participan en la síntesis y almacenamiento de lípidos, sin diferencias en la cantidad de grasa intramuscular (Dervishi *et al.*, 2011; Baldwin *et al.*, 2012; Sanz *et al.*, 2015).

V. CONCLUSIONES

1. La administración de harina de aguacate en diferentes sistemas de alimentación de ovinos en etapa de finalización no repercute en la composición lipídica intramuscular de carne proveniente del músculo *Longissimus dorsi*.
2. La utilización de harina de aguacate durante diferentes tiempos y niveles en la alimentación de ovinos en etapa de finalización no modifica la concentración de compuestos fenólicos y la actividad total antioxidante de la carne.
3. El uso de harina de aguacate en diferentes tiempos y proporciones en la alimentación de ovinos en la etapa de finalización afecta descoordinadamente la expresión de los genes ACACA, FAS, PPARG, SREBF1 y SCD, sin modificar la cantidad ni el perfil de la grasa intramuscular.

VI. LITERATURA CITADA

- Aali, M., Moradi-Shahrbabak, H., Moradi-Shahrbabak, M., Sadeghi, M. and Kohram, H. 2016. Polymorphism in the SCD gene is associated with meat quality and fatty acid composition in Iranian fat- and thin-tailed sheep breeds. *Livestock Science*, 188: 81–90.
- Aberle, E., Forrest, J., Gerrard, D. and Mills, E. 2001. *Principles of meat science*. 4ta.ed. Edit. Kendall /Hunt, USA.
- Abubakar, A. N. F., Achmadi, S. S. y Suparto, I. H. 2017. Triterpenoid of avocado (*Persea americana*) seed and its cytotoxic activity toward breast MCF-7 and liver HepG2 cancer cells. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 7: 397–400.
- Andersen, M. L., Lauridsen, R. K. and Skibsted, L. H. 2003. Optimising the use of phenolic compounds in foods. In: *Phytochemical functional foods*. I. Johnson and G. Williamson (Eds.). Woodhead Publishing, Ltd. Cambridge. pp. 315-346.
- Antequera, T. y Martín, L. 2001. Composición química general del jamón Ibérico: Interés nutritivo y dietético. En: B. J. Ventanas (Ed.), *Tecnología del jamón Ibérico*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 439-464
- A.O.A.C. Association of Official Agricultural Chemists. 2012. *Methods of Analysis*. 19th edition. The scientific dedicated to analytical Excellence. Washington, D.C.
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E. and Aguilar, C. N. 2018. Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51–60.

- Azizi, S. N. and Najafzadeh, S. 2008. Fatty acids and volatile compounds in avocado cultivated in North of Iran. *World Applied Sciences Journal*, 5: 01-04.
- Baldwin, R. L. T., Li, R. W., Li, C. J., Thomson, J. M. and Bequette, B. J. 2012. Characterization of the longissimus lumborum transcriptome response to adding propionate to the diet of growing Angus beef steers. *Physiol. Genomics*, 44, 543–550.
- Baltic, M. Z. and Boskovic, M. 2015. When Man Met Meat: Meat in Human Nutrition from Ancient Times till Today. *Procedia Food Science*, 5, 6–9.
- Bauman, D. E., McGuire M. A. and Harvatine, K. J. 2011. Mammary gland, milk biosynthesis and secretion: milk fat. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, eds. Academic Press, San Diego, California, USA, 352-358.
- Bendixen, E. 2005. The use of proteomics in meat science. *Meat Science*, 71, 138–149.
- Bernard, L., Leroux, C. and Chilliard, Y. 2013. Expression and nutritional regulation of stearoylCoA desaturase genes in the ruminant mammary gland: Relationship with milk fatty acid composition, 161-193 in *Stearoyl-CoA desaturase genes in lipid metabolism*, Ntambi JM, ed. iSpringer Science+Business Media, New York, USA.
- Bielli, A., Scioli, M. G., Mazzaglia, D., Doldo, E. and Orlandi, A. 2015. Antioxidants and vascular health. *Life Sciences*, 143, 209–216.

- Bravo-Lamas, L., Barron, L. J. R., Farmer, L. and Aldai, N. 2018. Fatty acid composition of intramuscular fat and odour-active compounds of lamb commercialized in northern Spain. *Meat Science*, 139, 231–238.
- Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S., Molle, G. and Cabiddu, A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*, 174, 1–25.
- Camero, M. I., Fernández, L., García, M. L., García de Fernando, G., De la Hoz, L. y Selgas, M. D. 2005. Características generales de la carne y componentes fundamentales, 170-184. En: Ordoñez, J. A. (ed.), *Tecnología de los Alimentos*. Vol 2. Síntesis, S. A. Madrid, España.
- Castillo, V. G., Olivera, A. M. y Carulla, F. J. 2013. Descripción del mecanismo bioquímico de biohidrogenación en el rumen de ácidos grasos poliinsaturados: Una revisión. *Revista U.D.C.A. Actualidad y divulgación científica*, 16, 459-468.
- Castro, C.T. 2014 Efecto de la adición de lípidos a la dieta de ovejas lecheras sobre los microorganismos implicados en el metabolismo ruminal de los ácidos grasos y la regulación nutricional de la lipogénesis mamaria. Memoria de Tesis doctoral. Universidad de León. León; España.
- Cert, A., Moreda, W. and Perez-Camino, M. C. 2000. Methods of preparation of fatty acid methyl esters (FAME). Statistical assessment of the precision characteristics from a collaborative trial. *Grasas y aceites*, 51: 447-456.
- Chaves, A. V., He, M. L., Yang, W. Z., Hristov, A. N., Mcallister, T. A. and Benchaar, C. 2008. Effects of essential oils on proteolytic, deaminative

and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. *Journal of Animal Science*, 88, 117-122.

Chia, T. W. R., and Dykes, G. A. 2010. Antimicrobial activity of crude epicarp and seed extracts from mature avocado fruit. (*Persea Americana*) of Three Cultivars *Pharmaceutical Biology*, 48(7), 753–756.

Chikwanha, O. C., Vahmani, P., Muchenje, V., Dugan, M. E. R. and Mapiye, C. 2018. Nutritional enhancement of sheep meat fatty acid profile for human health and wellbeing. *Food Research International*, 104, 25–38.

D'Alessandro, A. G., Palazzo, M., Petrotos, K., Goulas, P. and Martemucci, G. 2015. Fatty acid composition of light lamb meat from Leccese and Comisana dairy breeds as affected by slaughter age. *Small Ruminant Research*, 127, 36–43.

Davenel, A., Riaublanc, A., Marchal, P., and Gandemer, G. 1999. Quality of pig adipose tissue: relationship between solid fat content and lipid composition. *Meat Science*, 51, 73-79.

Delgado, P. N. 2017. Importancia económica, ambiental y social de la producción ovina en el área de protección de flora y fauna nevado de Toluca. Memoria de tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México; México.

De Smet, S. and Vossen, E. 2016. Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Science*, 120, 145–156.

Dervishi, E., Serrano, C., Joy, M., Serrano, M., Rodellar, C. and Calvo, J. H. 2011. The effect of feeding system in the expression of genes related with

- fat metabolism in semitendinous muscle in sheep. *Meat Science*, 89, 91–97.
- Dikeman, M. E. 1987. Fat reduction in animals and the effects on palatability and consumer acceptance of meta products. *Proceedings of the reciprocal meat conference*, 40, 93-105.
- Doureau, M. and Ferlay, A. 1994. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 45, 379-396.
- Eliyahu, D., Yosef, E., Weinberg, Z.G., Hen, Y., Nikbachat, M., Solomon, R., Mabjeesh, S.J. and Miron, J. 2015. Composition, preservation and digestibility by sheep of wet by-products from the food industry. *Animal Feed Science and Technology*, 207, 1–9.
- Enser, M., Hallett, K., Hewitt, B., Fursey, G. A. J., and Wood, J. D. 1996. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science*, 42(4), 443–456.
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O. and Muchenje, V. 2014. Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64, 171–181.
- F.A.O. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura .2016. Consumo de carne. Disponible en <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>. Consultado el 18 de octubre del 2016.
- Food Advisory Committee, 1990. Report on Review of Food Labelling and Advertising. HMSO, London.

- Folch, L., Lees, M. and Sloane-Stanley, C. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
- Fránquez, C. P. 2013. Estabilidad oxidativa y calidad de la carne de cerdos alimentados con la inclusión del fruto entero de aguacate. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit.
- German, J. B. 1990. Muscle lipids. *Journal of Muscle Foods*, 1, 33-36.
- Gómez-Cortés, P., Gallardo, B., Mantecón, A. R., Juárez, M., de la Fuente, M. A. and Manso, T. 2014. Effects of different sources of fat (calcium soap of palm oil vs. extruded linseed) in lactating ewes diet on the fatty acid profile of their suckling lambs. *Meat Science*, 96, 1304–1312.
- Grageola, F. 2009. Aprovechamiento del aguacate de desecho en la alimentación del cerdo Pelón Mexicano y cerdo comercial. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Nayarit.
- Grageola, F., Sanginés, L., Díaz, C., Gómez, A., Cervantes, M., Lemus, C. and Ly, J. 2010. The effect of breed and dietary level of avocado fat on the N and energy balance in young pigs. *Journal of Animal and Feed Science*, 19, 37-49.
- Guo, W. and Greaser, M. L., 2017. Chapter 2 - Muscle Structure, Proteins, and Meat Quality A2, 13–31 - Purslow, Peter P., in: *New Aspects of Meat Quality*. Woodhead Publishing.
- Hernández, M. and Sastre, A. 1999. *Tratado de nutrición*. Díaz de Santos. Madrid, España.

- Hernández-Lopez, S. H. 2016. Valor nutritivo de pasta de aguacate y su efecto en la estabilidad oxidativa y calidad sensorial de carne de cerdo. Memoria de Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, Nayarit; México.
- Hernández-López, S. H., Rodríguez-Carpena, J. G., Lemus-Flores, C., Grageola-Nuñez, F. and Estévez, M. 2016. Avocado waste for finishing pigs: Impact on muscle composition and oxidative stability during chilled storage. *Meat Science*, 116, 186–192.
- Hernández-López, S. H., Rodríguez-Carpena, J. G., Lemus-Flores, C., Galindo-García, J., and Estévez, M. 2016b Antioxidant protection of proteins and lipids in processed pork loin chops through feed supplementation with avocado. *Journal of food science and technology*, 53, 2788-2796.
- Hernández, O. G. P. 2017. Elaboración de una dieta para tilapia (*Oreochromis niloticus*) con inclusión de subproducto de aguacate. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado CBAP. Universidad Autónoma de Nayarit.
- Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A. and Carrasco-Pancorbo, A. 2018. Avocado fruit—*Persea americana*, 37–48. in: Rodrigues, S., de Oliveira Silva, E., de Brito, E.S. (Eds.), *Exotic Fruits*. Academic Press.
- Jensen, R. G. 1995. *Handbook of milk composition*. Academic Press. San Diego, California; Estados Unidos.
- Jiang, J. and Xiong, Y. L., 2016. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 120, 107–117.

- Jiménez-Colmenero, F. 2000. Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 56-66.
- Kadegowda, A. K., Bionaz, M., Piperova, L. S., Erdman, R. A. and Loor, J. J. 2009. Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma activation and long-chain fatty acids alter lipogenic gene networks in bovine mammary epithelial cells to various extents. *Journal of Dairy Science*, 92: 4276-4289.
- Kritchevsky, D., Tepper, S. A., Wright, S., Czarnecki, S. K., Wilson, T. A. and Nicolosi, R. J. 2003. Cholesterol vehicle in experimental atherosclerosis 24: avocado oil. *Journal of the American College of Nutrition*, 22, 52-55.
- Leseigneur-Meynier, A. and Gandemer, G. 1991. Lipid composition of pork muscles in relation to the metabolic type of the fibres. *Meat Science*, 29, 229–241.
- Li, H. W., Wang, H. R., Yu, L. H., Wang, M. Z., Liu, S. M., Sun, L. S. and Chen, Q., 2015. Effects of supplementation of rumen-protected choline on growth performance, meat quality and gene expression in longissimus dorsi muscle of lambs. *Archives of Animal Nutrition*, 69, 340–350.
- Liu, X. G., Huang, M. Y., Gao, P. Y., Liu, C. F., Sun, Y. Q., Lv, M. C., Yao, G. D., Zhang, L. X. and Li, D. Q., 2018. Bioactive constituents from *Medicago sativa* L. with antioxidant, neuroprotective and acetylcholinesterase inhibitory activities. *Journal of Functional Foods*, 45, 371–380.
- Livak, K. J. and Schmittgen, T. D. 2001. Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ Method. *Methods*, 25, 402–408.

- Lu, Q. Y., Arteaga, J. R., Zhang, Q., Huerta, S., Go, V. L. W. and Heber, D. 2005. Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substance. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 16, 23-30.
- Martín, L. 2002. Composición química de la carne. Métodos de análisis, 313-328. En: Martín and Macias. (Eds.) *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*. Vol 1. Capítulo 15.
- Martínez-Marín, A. L., Pérez-Hernández, M., Pérez-Alba, L., Gómez-Castro, G. y Carrión-Pardo, D. 2010. Metabolismo de los lípidos en los rumiantes. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 11: 134-165.
- Mattson, F. H., and Grundy, S. M. 1985. Comparison of dietary saturated and monounsaturated and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. *Journal Lipid Research*, 26, 194–197.
- Molina-Alcaide, E. and Yáñez-Ruiz, D. R. 2008. Potential use of olive by-products in ruminant feeding: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 147, 247–264.
- Naveh, E., Werman, M. J., Sabo, E. and Neeman, I. 2002. Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets whit cholesterol. *The Journal of Nutrition*, 132, 2015-2022.
- Negesse, T., Makkar, H. P. S. and Becker, K. 2009. Nutritive value of some non-conventional feed resources of Ethiopia determined by chemical analyses and an in vitro gas method. *Animal Feed Science and Technology*, 154, 204–217.

NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (Método SOXHLET).

Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.

Oliveira, D. M., Chalfun-Junior, A., Chizzotti, M. L., Barreto, H. G., Coelho, T. C., Paiva, L. V., Coelho, C. P., Teixeira, P. D., Schoonmaker, J. P. and Ladeira, M. M., 2014. Expression of genes involved in lipid metabolism in the muscle of beef cattle fed soybean or rumen-protected fat, with or without monensin supplementation. *Journal of Animal Science*, 92, 5426–5436.

Palmquist, D. L. 2006. Milk fat: origin of fatty acids and influence of nutritional factors thereon. *Advanced dairy chemistry Vol. 2: Lipids*, Fox, P.F. y McSweeney, P.L., eds. Springer, New York, USA

Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N. and Nicorescu, V. 2017. Mechanisms of Oxidative Processes in Meat and Toxicity Induced by Postprandial Degradation Products: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16: 96–123.

Partida, P. J. A., Braña, V. D., Jiménez, S. H., Ríos, F. G. y Buendía, R. G. 2013. Producción de carne ovina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 1: 4-8.

Partida, P. J. A., Ríos, R. F. G, Lino, C. C., Dominguez, V. I. A., and Buendía, R. G. 2017. Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3):269-277.

Perea-Moreno, A. J., Aguilera-Ureña, M. J. and Manzano-Agugliaro, F. 2016. Fuel properties of avocado stone. *Fuel*, 186, 358–364.

- Pérez-Rosales, R., Villanueva-Rodríguez, S. y Cosío-Ramírez, R. 2005. El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *E-Gnosis*, 3, 1-11.
- Petrón T. M. J. 2002. Estudio de la fracción lipídica intramuscular en diferentes tipos de jamón ibérico. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Extremadura, España.
- Pieterse, Z., Jerling, J. and Oosthuizen, W. 2003. Avocados (monounsaturated fatty acids), weight loss and serum lipids. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, 3, 65–71.
- Pieterse, Z., Jerling, J. C., Oosthuizen, W., Kruger, H. S., Hanekom, S. M., Smuts, C. M. and Schutte, A. E. 2005. Substitution of high monounsaturated fatty acid avocado for mixed dietary fats during an energy-restricted diet: Effects on weight loss, serum lipids, fibrinogen, and vascular function. *Nutrition*, 21, 67-75.
- Price, J. F. and Schweigert, B. S. 1994. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Ed. Acribia, S. A. Zaragoza, España.
- Rafińska, K., Pomastowski, P., Wrona, O., Górecki, R. and Buszewski, B., 2017. *Medicago sativa* as a source of secondary metabolites for agriculture and pharmaceutical industry. *Phytochemistry Letters*, 20, 520–539.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.

- Rodríguez, C. J. G. 2011. Utilización de subproductos de aguacate para la mejora de las características nutricionales y la estabilidad oxidativa de hamburguesas de cerdo. Memoria de Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Cáceres, España.
- Rubio, L. M., Braña, V. D., Mendez, R. D. y Delgado, S. E. 2013. Composición de la carne mexicana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Colón, Queretaro.
- Ruíz, J. and López-Bote, C. J. 2002. Improvement of dry-cured ham quality by lipid modifications through dietary means, 255-271 In: F. Toldrá (Ed.), Recent Advances in the Quality of Meat Products.
- Sanz, A., Serrano, C., Ranera, B., Dervishi, E., Zaragoza, P., Calvo, J. H. and Rodellar, C. 2015. Novel polymorphisms in the 5'UTR of FASN, GPAM, MC4R and PLIN1 ovine candidate genes: relationship with gene expression and diet. Small Ruminant Research, 123, 70–74.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2016. Monografía de cultivos, Aguacate. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Monograf%C3%ADa%20del%20aguacate.pdf>. página consultada el 1 de noviembre de 2016.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Anuario estadístico de producción pecuaria. 2018. Disponible en http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/ResumenNacional.do o Consultada el 28 de septiembre de 2018.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Anuario estadístico de producción agrícola. 2018. Disponible en http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ Consultada el 30 de septiembre de 2018.
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D. and Mir, S. A. 2014. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98, 21–33.
- Skenjana, J. B. J. van Ryssen, W. A. and van Niekerk, A. 2006. In vitro digestibility and in situ degradability of avocado meal and macadamia waste products in sheep South Afrlca Journal of Animal Science, 36: 78–81.
- Smeti, S., Hajji, H., Mekki, I., Mahouachi, M. and Atti, N. 2018. Effects of dose and administration form of rosemary essential oils on meat quality and fatty acid profile of lamb. *Small Ruminant Research*, 158, 62-68.
- Soong, Y. Y. and Barlow, P. J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chemistry*, 88, 411-417.
- Stachowiak, M., Nowacka-Woszuik, J., Szydowski, M. and Switonski, M. 2013. The ACACA and SREBF1 genes are promising markers for pig carcass and performance traits, but not for fatty acid content in the longissimus dorsi muscle and adipose tissue. *Meat Science*, 95, 64–71.
- Tejerina, D., García-Torres, S., de Vaca, M. C., Vázquez, F. M. and Cava, R. 2012. Study of variability in antioxidant composition and fatty acids profile of Longissimus dorsi and Serratus ventralis muscles from Iberian pigs reared in two different Montanera seasons. *Meat Science*, 90, 414–419.

- Van Cleef, F. O. S., Ezequiel, J. M. B., D'Aurea, A. P., Almeida, M. T. C., Perez, H. L. and van Cleef, E. H. C. B. 2016. Feeding behavior, nutrient digestibility, feedlot performance, carcass traits, and meat characteristics of crossbred lambs fed high levels of yellow grease or soybean oil. *Small Ruminant Research*, 137, 151–156.
- Vasta, V., Nudda, A., Cannas, A., Lanza, M. and Priolo, A. 2008. Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 147, 223–246.
- Vasta, V., Aouadi, D., Brogna, D. M. R., Scerra, M., Luciano, G., Priolo, A. and Ben Salem, H. 2013. Effect of the dietary supplementation of essential oils from rosemary and artemisia on muscle fatty acids and volatile compound profiles in Barbarine lambs. *Meat Science*, 95, 235-241.
- Ventanas, S., Ventanas, J., and Estevéz, M. 2005. Iberian pigs for the development of high-quality cured products. 27-53 In: recent research in development in Agricultural and Food Chemistry, Kerala, India.
- Villa, J. A., Molina, F. J., Ayala, Z. J. F., Olivas, G. I. and González, A. G. A. 2010. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44, 1231-1237.
- Wang, W., Bostic, T.R. and Gu, L. 2010. Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocado of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122,1193-1198.
- Wang, B., Yang, Q., Harris, C. L., Nelson, M. L., Busboom, J. R., Zhu, M. J. and Du, M. 2016. Nutrigenomic regulation of adipose tissue development — role of retinoic acid: A review. *Meat Science*, 120, 100–106.

Wood, J., Richardson, R., Nute, G., Fisher, A., Campo, M., Kasapidou, E., Sheard, P. and Enser, M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21–32.

Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I. and Whittington, F. M. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78, 343–358.

Xu, X., Wei, X., Yang, Y., Niu, W., Kou, Q., Wang, X. and Chen, Y. 2015. PPAR γ , FAS, HSL mRNA and protein expression during Tan sheep fat-tail development. *Electronic Journal of Biotechnology*, 18, 122–127.