

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**ÁCIDOS GRASOS Y COLESTEROL EN CANALES DE
CORDEROS ALIMENTADOS CON DIFERENTE NIVEL DE
MANGANESO EN LA DIETA**

T E S I S
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

P R E S E N T A

NOÉ GALINDO DORANTES



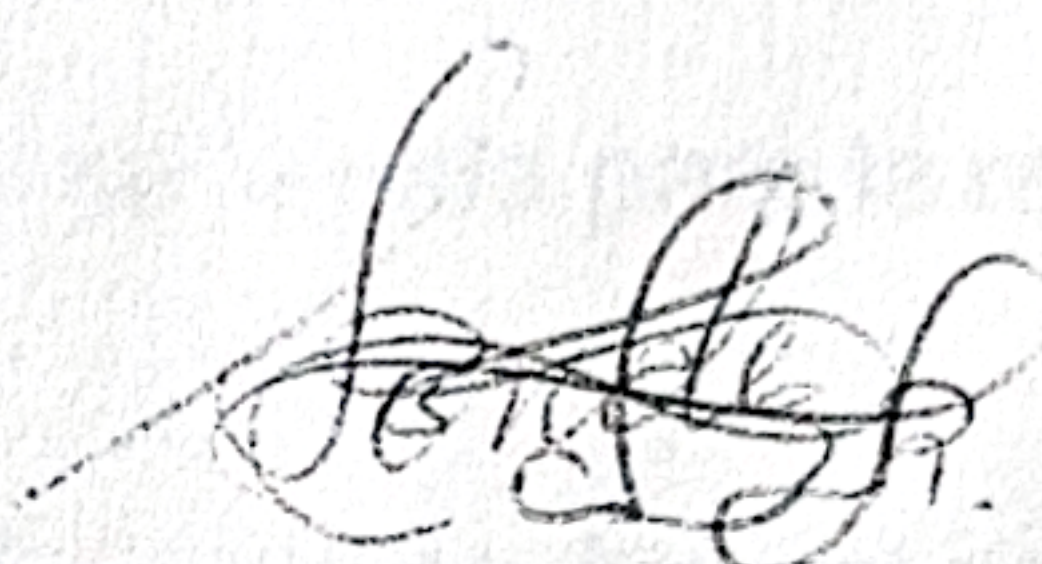
**Diciembre de 2005
Chapingo, Estado de México**

**ACIDOS GRASOS Y COLESTEROL EN CANALES DE
CORDEROS ALIMENTADOS CON DIFERENTE NIVEL DE
MANGANESO EN LA DIETA**

Tesis realizada por **Noé Galindo Dorantes** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

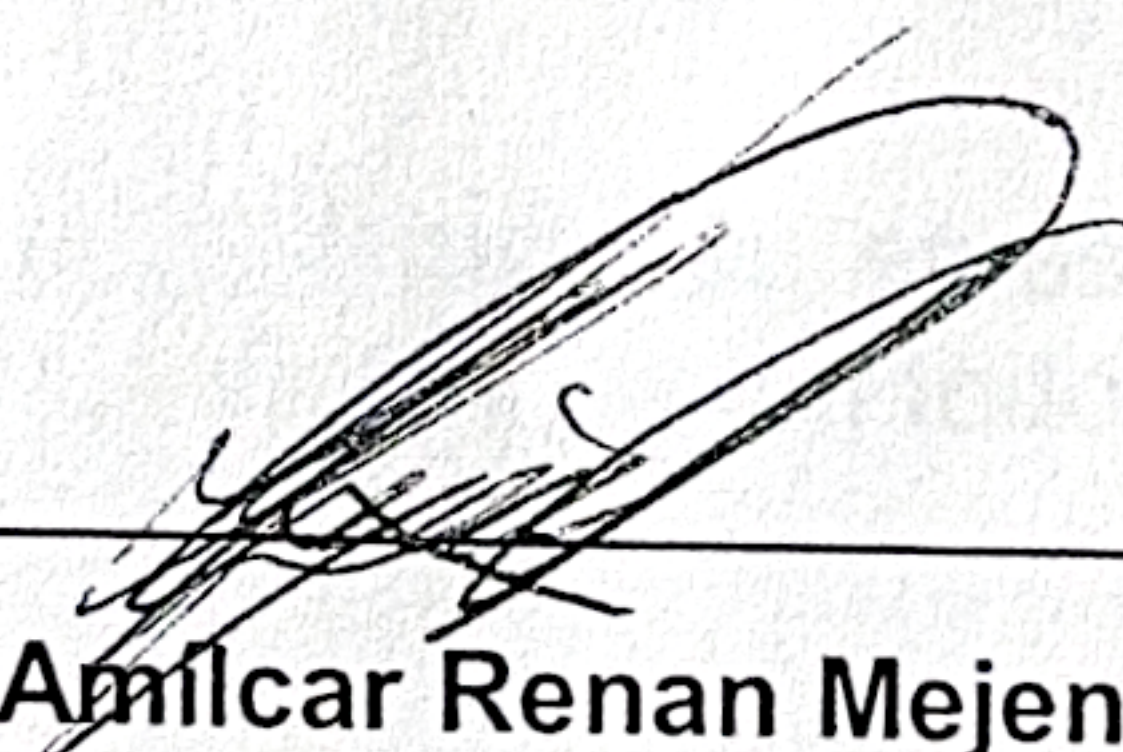
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



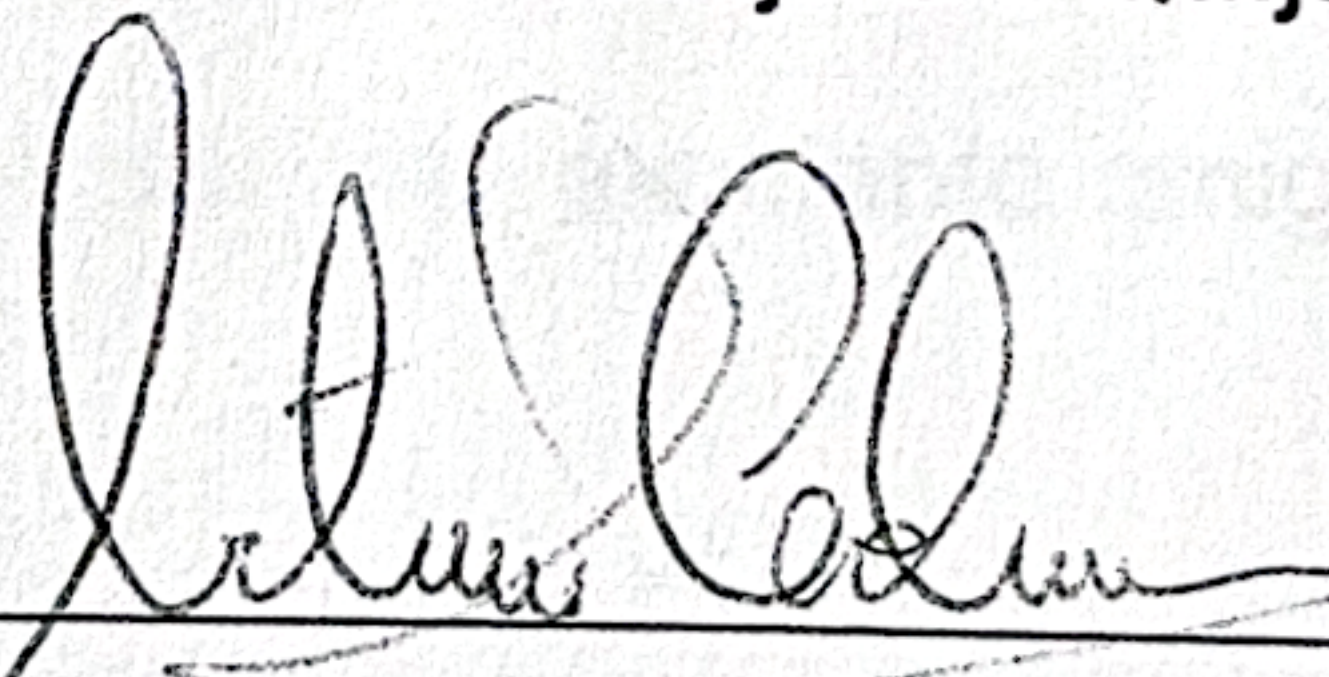
M.C. Carlos Sánchez del Real

ASESOR:



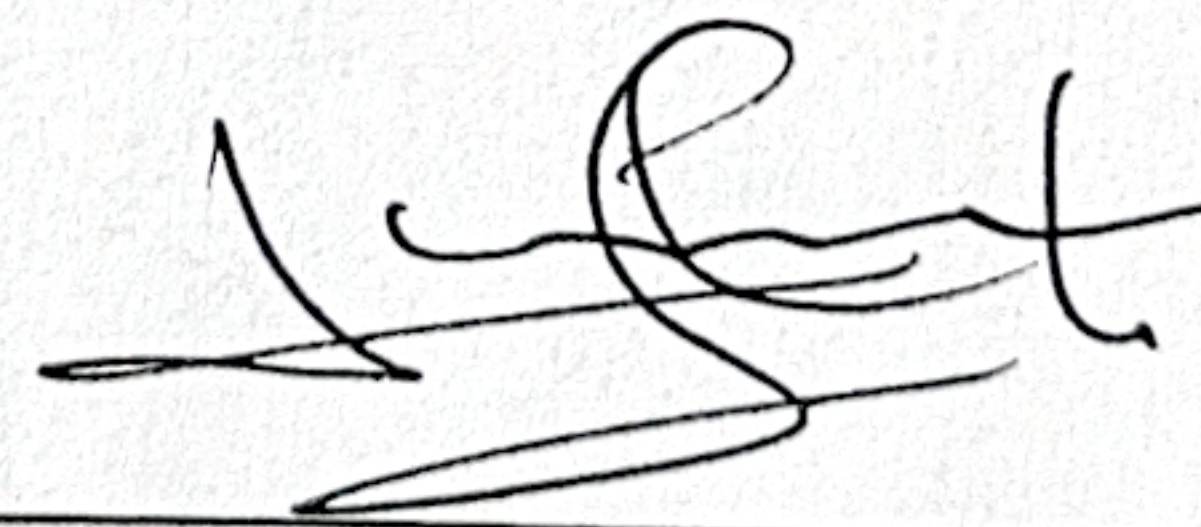
Ph. D. Amílcar Renan Mejenes Quijano

ASESOR:



Dr. José Artemio Cadena Meneses

ASESOR:



Ph. D. Maximino Huerta Bravo

A-1-3274

AGRADECIMIENTOS

A la vida y a dios por darme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal por permitirme estudiar la Maestría en Ciencias.

Al **M.C. Carlos Sánchez del Real**, por su amistad, confianza y atinada dirección en la realización de la presente tesis.

A los miembros del comité asesor, Ph D. Amilcar R. Mejenes, Dr. José A. Cadena y Ph D. Maximino Huerta, por sus sugerencias que ayudaron a enriquecer este trabajo.

Al Ing. Meliton Córdoba Álvarez por su ayuda para la realización de esta tesis.

A los profesores de Posgrado en Producción Animal por compartir parte de sus conocimientos y experiencias.

A los compañeros y amigos de Posgrado, en especial a Germán, Vite, Eduardo, Mario, Juan C., Enrique, Rafael, Carlos y a todos aquellos que hicieron que este tiempo fuera agradable.

A Maria Guadalupe Ayala por ser una excelente amiga y brindarnos siempre una sonrisa agradable.

DEDICATORIAS

A la mujer noble, admirable que hizo posible esta hermosa realidad y que siempre estará en mi mente y corazón: Mi madre Gloria.

A mi padre Romualdo por su apoyo y comprensión que me ha brindado.

Especialmente, al hombre que me enseñó el respeto, trabajo, honradez y que siempre me brindo su apoyo el que fue de gran importancia para cumplir mis metas, por ser un gran hombre: Mi abuelo, Medardo Galindo.

A mis hermanos por confiar y creer en mi, Medardo, Eleazar, Candido, Antonia y Estela.

A mi tía Virginia por su apoyo brindado.

A Laura por su comprensión, paciencia, amor, apoyo y por la dicha de darme una hija.

A mí hija América Selene, por que su sonrisa me alienta a seguir adelante.

A mis sobrinos y demás familiares que en algún momento me han motivado para seguir adelante.

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre	Noé Galindo Dorantes
Fecha de Nacimiento	10 de Noviembre 1979
Profesión	Ing. Agrónomo Zootecnista
Cédula Profesional	4050125

DESARROLLO ACADEMICO

1995-1998 Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Capingo, Edo. De México.

1998-2002 Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Capingo, Edo. De México.

2003-2005 Maestría en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Capingo, Edo. De México.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS	ii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	2
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Importancia del manganeso.....	4
2.2 Función del manganeso.....	4
2.3 Lípidos	6
2.4 Manganeso y metabolismo de lípidos.....	7
2.5 Grasas	8
2.5.1 Estructura de las grasas.....	9
2.5.2 Síntesis de la grasa	9
2.6 Interacción grasa-nutrición.....	11
2.7 Ácidos grasos y calidad de la carne.....	13
2.7.1 Composición de ácidos grasos en la carne	14
2.7.2 Manipulación de la composición de ácidos grasos y su efecto en la calidad de la carne	15
2.7.3 Ácidos grasos y calidad de la carne en rumiantes	16
2.8 Ácidos grasos esenciales.....	17
2.9 Características generales del colesterol	18
2.9.1 Estructura química	18
2.9.2 Función del colesterol.....	19
2.9.3 Síntesis del colesterol.....	19

2.9.4 Metabolismo del colesterol	20
2.9.4.1 Absorción.....	20
2.9.4.2 Metabolismo	21
2.10 Colesterol y salud humana.....	21
2.11 Literatura citada	24
CAPÍTULO III	29
ÁCIDOS GRASOS Y COLESTEROL EN CANALES DE CORDEROS ALIMENTADOS CON DIFERENTE NIVEL DE MANGANESO EN LA DIETA..	30
RESUMEN	30
SUMMARY.....	32
4.1 Introducción	33
4.2 Materiales y Métodos.....	35
4.3 Resultados y Discusión.....	39
4.3.1 Efecto de los niveles de manganeso suplementario	39
4.3.2 Ácidos grasos en tejidos.....	40
4.3.3 Interacción del nivel de manganeso con la concentración de ácidos grasos en tejidos	42
4.3.4 Colesterol en tejidos	44
4.4 Conclusiones	47
4.5 Implicaciones	48
4.6 Literatura citada	49
LISTA DE ANEXOS.....	53

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición de grasa y ácidos grasos en bisteces de lomo de bovinos, corderos y cerdos.....	14
Cuadro 2. Perfil lipídico sanguíneo recomendado en humanos.....	22
Cuadro 3. Ingredientes y composición nutritiva de la dieta base experimental.....	36
Cuadro 4. Contenido de ácidos grasos en la canal de corderos alimentados con diferente nivel de manganeso en la dieta (Promedios de siete tejidos).....	39
Cuadro 5. Concentración de ácidos grasos en diferentes tejidos de corderos (promedio de cinco niveles de Mn en la dieta).....	41
Cuadro 6. Interacciones y probabilidades de los niveles de manganeso con tejidos en corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	43
Cuadro 7. Media de mínimos cuadrados para contenido de ácido palmítico en tejidos de corderos alimentados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	44
Cuadro 8. Contenido de colesterol en tejidos de corderos alimentados con diferente nivel de manganeso.....	48

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Clasificación de los lípidos.....	8
Figura 2. Estructura básica de los triacilgliceroles (Los radicales R1, R2 y R3 representan a un ácido graso de saturación variable).....	9
Figura 3. Estructura química del colesterol.....	19
Figura 4. Ateroesclerosis en humanos por causa de colesterol.....	22

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Tabla de análisis de varianza para la concentración de mirístico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	53
Anexo 2. Tabla de análisis de varianza para la concentración de palmítico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	53
Anexo 3. Tabla de análisis de varianza para la concentración de esteárico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	53
Anexo 4. Tabla de análisis de varianza para la concentración de oléico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	54
Anexo 5. Tabla de análisis de varianza para la concentración de linoléico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	54
Anexo 6. Tabla de análisis de varianza para la concentración de araquidónico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	54
Anexo 7. Ácidos grasos en hígado de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	55
Anexo 8. Ácidos grasos en riñón de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	55
Anexo 9. Ácidos grasos en corazón de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	56
Anexo 10. Ácidos grasos en filete de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	56

Anexo 11.	Ácidos grasos en pierna de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	57
Anexo 12.	Ácidos grasos en costilla de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	57
Anexo 13.	Ácidos grasos en espaldilla de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	58
Anexo 14.	Concentración de ácido oléico en tejidos de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	58
Anexo 15.	Concentración de ácido linoléico en tejidos de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	59
Anexo 16.	Concentración de ácido araquidónico en tejidos de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.....	59

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

La grasa que proviene de los alimentos es uno de los tres principales grupos de nutrientes que suministra energía al organismo. La grasa está compuesta de ácidos grasos insaturados y saturados. Además de la energía, la grasa provee ácidos grasos poliinsaturados, que son esenciales para los humanos (Nürnberg *et al.*, 1998).

La composición lipídica de los alimentos de origen animal ha sido sometida a numerosas investigaciones, en gran parte por los efectos que tiene la grasa dietética sobre la concentración de lípidos en la sangre y por los efectos cardiovasculares que produce (Hartog *et al.*, 1987; Madsen *et al.*, 1992). La carne es uno de los principales alimentos que proporciona ácidos grasos esenciales, sin embargo, un alto consumo de carnes está asociado a la ingestión de altas cantidades de grasa.

La composición de ácidos grasos de la carne se puede modificar por diferentes factores tales como la dieta, especie animal, edad, peso, raza, sexo y aplicación de hormonas en el alimento (Bouchard *et al.*, 1993; Nürnberg *et al.*, 1998). Desde el punto de vista de la dieta la concentración de ácidos grasos se puede alterar variando la cantidad de algunos ingredientes o incluyendo aquéllos que disminuyan la depositación de grasa en la canal. Debido al papel que juega en el metabolismo de lípidos en el organismo, en este estudio se evalúa la influencia del manganeso sobre la depositación de ácidos grasos y colesterol en canales de corderos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del manganeso

La mayoría de los tejidos animales contienen cantidades traza de manganeso (Mn), alcanzándose las mayores concentraciones en riñón, hígado, páncreas, pituitaria y huesos, mientras que la menor concentración se presenta en sangre y músculos. El manganeso tiene importancia en el organismo animal como activador enzimático y su papel es semejante al magnesio, activa una serie de fosfotransferasas y descarboxilasas, especialmente las relacionadas con el ciclo de los ácidos tricarboxílicos (McDonald, 1988). Hace más de setenta años se descubrió la importancia del manganeso en la fertilidad de ratones y ratas (Underwood y Suttle, 2003). Posteriormente se descubrió que las enfermedades de las aves conocidas como perosis y condrodistrofia nutricional podían prevenirse con suplementos de manganeso (Leach y Harris, 1996; Underwood y Suttle, 2003). La deficiencia de manganeso en los animales trae como consecuencia un bajo crecimiento, anormalidades en el esqueleto y ataxia de los recién nacidos, además de disturbios en las funciones reproductivas (NRC, 1985). Más recientemente se ha demostrado que una deficiencia severa de manganeso altera la inmunidad y la función del sistema nervioso central (Hurley *et al.*, 1987).

2.2 Función del manganeso

El manganeso es necesario para mantener funcionando adecuadamente los procesos reproductivos, tanto en hembras como en machos. También participa con varias enzimas en el metabolismo, tales como quinazas, hidrolasas, transferasas y descarboxilasas (Underwood, 1981; Kincaid, 1998).

Al adicionar manganeso a la dieta se ha visto que se mejora la conversión alimenticia y reduce la cantidad de grasa en la canal, esto, básicamente, a que inhibe hormonas que sintetizan las sustancias grasas como el colesterol (Underwood, 1981).

El manganeso es esencial para la función normal del cerebro. En ratas, la deficiencia incrementa el riesgo de convulsiones; en humanos, los epilépticos tienen concentraciones bajas de manganeso en el cerebro (Underwood, 1981).

Para Underwood (1981) las principales funciones del manganeso son las siguientes:

- Interviene en el desarrollo del cartílago al activar la enzima glicosiltransferasa que es la que sintetiza los mucopolisacáridos, los cuales son componentes vitales del cartílago.
- Interviene también en la coagulación de la sangre al activar la glicosiltransferasa.
- Se han reportado defectos en el metabolismo de lípidos y carbohidratos, probablemente porque el Mn inhibe a la biotina y esta sustancia activa a la enzima piruvato carboxilasa, en ratas y cerdos de guinea. Sin embargo este proceso es poco conocido en animales domésticos.

Arelovich *et al.* (2000) encontraron que al aumentar la concentración de manganeso de 0 a 100 ppm se incrementó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 42 a 44.7 % en heno de praderas. Los estudios realizados por Grace

(1973) muestran que al incrementar los niveles de manganeso en la dieta de 0 a 250 ó 500 ppm se afectó de manera negativa el comportamiento productivo de ovinos, con incrementos en el contenido de Mn en hígado, riñón y corazón.

El manganeso también está relacionado con funciones en el comportamiento reproductivo de los animales. Rojas *et al.* (1965) observaron que las vacas que recibieron una dieta baja en Mn requirieron 4 servicios en comparación con las vacas control que requirieron sólo 2 servicios para quedar gestantes. Los becerros que nacieron de las vacas que recibieron menos manganeso nacieron con deformidades esqueléticas.

Por otro lado, Olson *et al.* (1999) no encontraron efectos positivos al suplementar una mezcla de Cu, Co, Mn y Zn sobre los parámetros reproductivos en vacas.

2.3 Lípidos

Los lípidos son un grupo de sustancias que se encuentran en los tejidos vegetales y animales, insolubles en agua, pero solubles en los solventes orgánicos como benzol, éter y cloroformo. Actúan como portadores de electrones, transportadores de substratos en las reacciones enzimáticas, componentes de las membranas biológicas y como reserva de energía (McDonald *et al.*, 1988). En la Figura 1 se muestra la clasificación de los lípidos.

2.4 Manganeso y metabolismo de lípidos

La piruvato carboxilasa influye en el metabolismo lipídico, ya que la acumulación de grasa que se observa en una deficiencia de manganeso está asociada a una deficiencia de colina en no rumiantes y la colina activa a la misma enzima. Se han observado defectos en el metabolismo de lípidos en ratas y cobayos consumiendo dietas deficientes en manganeso, pero poco se sabe de estos aspectos en animales domésticos. Se ha señalado una asociación entre la colina y manganeso, siendo necesarios los dos nutrientes para evitar la perosis en pollos. Una ración deficiente en manganeso reduce la depositación de grasa y también el espesor de grasa dorsal en cerdos (Underwood y Suttle, 2003), y también en cabras que nacieron de madres cuya ración era deficiente en manganeso (Underwood y Suttle, 2003).

Se ha estudiado el metabolismo del colesterol en animales deficientes en manganeso, estas investigaciones se basaron en la hipótesis de que el manganeso mejoraba la biosíntesis de colesterol (Leach y Harris, 1996). Sin embargo, no se han obtenido resultados similares en las investigaciones *in vivo*. Investigaciones con gallinas ponedoras condujeron a la conclusión de que el manganeso no juega un papel importante en la biosíntesis de colesterol (Klimis *et al.*, 1983). Se llegó a conclusiones similares, por los mismos autores, cuando realizaron experimentos con ratas (Klimis *et al.*, 1983). Mas tarde, se conoció que hay un pequeño cambio en el metabolismo de colesterol, especialmente en las lipoproteínas de alta densidad (HDL), asociado a una deficiencia de manganeso. Por otra parte, Davis *et al.* (1990) observaron que la deficiencia de

manganeso redujo la concentración de colesterol ligado a HDL, pero no tuvo efecto en el contenido de colesterol en el hígado.

En general, no hay evidencia de que el manganeso juegue un papel importante en la biosíntesis de colesterol. Deficiencias del elemento resultan en pequeños cambios en el metabolismo del colesterol, pero esto no es consistente en todas las especies (Leach y Harris, 1996).

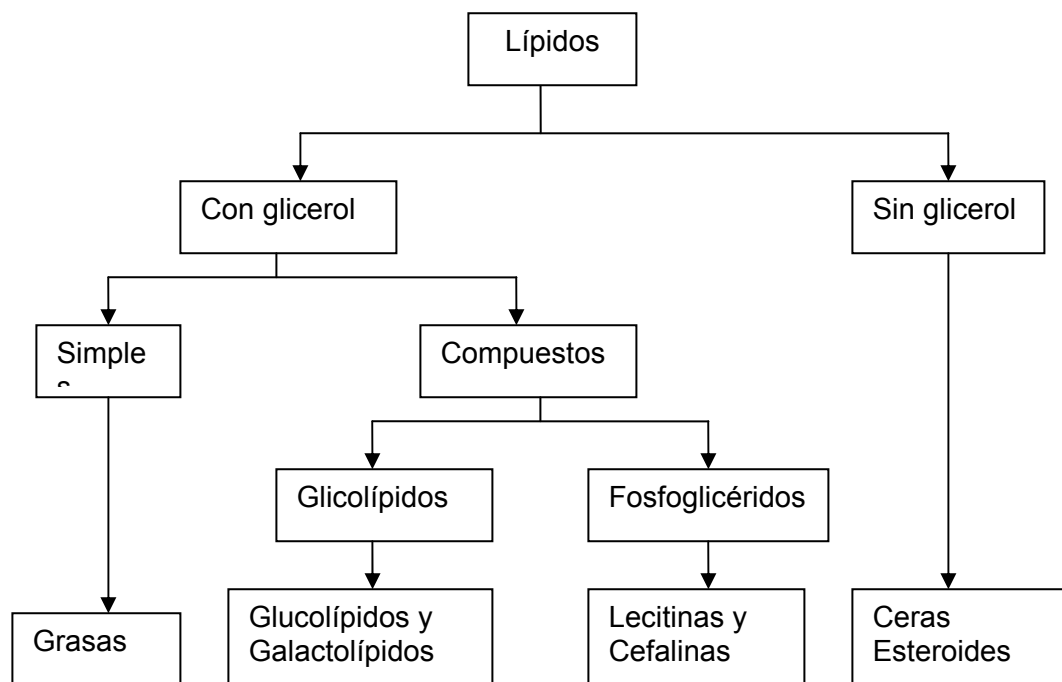


Figura 1. Clasificación de los lípidos.

2.5 Grasas

Las grasas y aceites forman parte de vegetales y animales, sirviendo como reserva energética. Tienen la misma estructura general y las mismas propiedades químicas, pero las características físicas son distintas. Los puntos de fusión de los aceites son bajos, de tal forma que son líquidos a temperatura

ambiente. En forma general se emplea la palabra grasa para designar a ambos grupos de sustancias (McDonald *et al.*, 1988).

2.5.1 Estructura de las grasas

Las grasas son ésteres de ácidos grasos con el alcohol trihídrico glicerol, llamados glicéridos o acilglicerol, si los tres grupos alcohol se esterifican con ácidos grasos, el compuesto resultante es un triglicérido (triacilglicerol). Los átomos de carbono del glicerol se designan con los números 1, 2 y 3. También se encuentran en la naturaleza di y monoacilglicerol, aunque en cantidades muy inferiores a las que existen de triacilglicerol (McDonald *et al.*, 1988). En la Figura 2 se observa la estructura general de los acilglicerol.

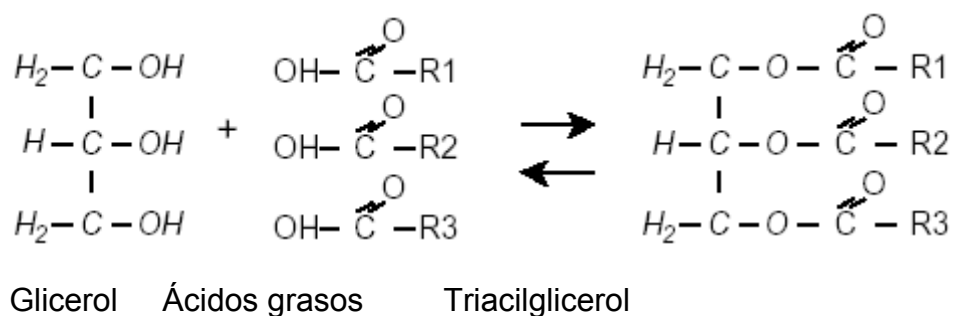


Figura 2. Estructura básica de los triacilglicerol (Los radicales R1, R2 y R3 representan a un ácido graso de saturación variable).

2.5.2 Síntesis de la grasa

La depositación de lípidos en el cuerpo es el resultado de varias transformaciones bioquímicas, por una parte, la síntesis de ácidos grasos (lipogénesis) y su esterificación en triacilglicerol y por otra parte la hidrólisis de triacilglicerol hacia ácidos grasos (Sainz, 1995). Los ácidos grasos, previamente formados, absorbidos en el intestino delgado se usan para la

formación de triacilgliceroles. La mayoría de ácidos grasos son sintetizados de *novo* en el tejido adiposo; contrario a lo que sucede en humanos, aves y roedores, donde el hígado es el mayor sitio de lipogénesis (Smith, 1995). El mayor sustrato para la lipogénesis en rumiantes es el acetato, con pequeñas contribuciones de propionato y butirato. Las enzimas que están involucradas en la síntesis de la grasa son la acetil-coA carboxilasa y la grasa-acil sintetasa. Los ácidos grasos derivados del espacio extracelular son tomados por los adipositos y esterificados a α -glicerol fosfato para formar triacilgliceroles (Sainz, 1995).

El incremento de lípidos en los adipositos depende del balance entre la síntesis y catabolismo de la grasa, además las reacciones catabólicas juegan un papel en la deposición de grasa. La lipólisis es la degradación de triacilgliceroles a di y mono-acilgliceroles, ácidos grasos y colesterol. Los ácidos grasos provenientes de la lipólisis pueden ser reactivados para su reesterificación o pueden ser liberados a la circulación. El glicerol no puede ser reutilizado y es cuantitativamente secretado. La distribución de la grasa dentro de los diferentes depósitos puede estar relacionada a las actividades de las diferentes enzimas y rutas en los adipositos en las diferentes partes del cuerpo (Sainz, 1995). Los depósitos de grasa varían en su espesor y esta variabilidad se debe principalmente a diferencias a la actividad lipogénica de cada tejido.

El tejido adiposo subcutáneo tiene mayor actividad lipogénica que el tejido perirenal, mesenterico y omental, estos últimos tienen una actividad similar

(Pothoven y Beitz, 1973). El tejido adiposo subcutáneo, tiene mayor actividad lipogénica que el tejido intramuscular (Hood y Allen, 1978). Asimismo, el tejido subcutáneo convierte más acetato y lactato a ácidos grasos que el tejido intramuscular, pero la incorporación de glucosa es más alta en el tejido intramuscular (Smith y Crouse, 1984). Estas diferencias son más grandes en los tejidos de novillos alimentados con dietas altas en grano que aquéllos que son alimentados con dietas con baja energía. En los depósitos de grasa de tejidos intramusculares los índices de incorporación de acetato hacia ácidos grasos es similar en los músculos longissimus, semimenbrano y trapecio y fueron más altos en el músculo pectoral profundo (Hood y Allen, 1978).

2.6 Interacción grasa-nutrición

Berg y Butterfield (1976) describieron la partición de los nutrientes como un proceso hidráulico, por el que los nutrientes disponibles son asignados, primeramente, a los procesos de alta prioridad (mantenimiento, crecimiento fetal) y tejidos (cerebro) y posteriormente son canalizados a los tejidos de baja prioridad, y la grasa tiene la más baja prioridad. Usando este modelo, la depositación de grasa ocurre sólo después de que se han cubierto los requerimientos energéticos más importantes, y el exceso de energía se almacena como lípidos (Sainz, 1995).

Los efectos nutricionales más marcados sobre la lipogénesis están asociados con el ayuno (Sainz, 1995). En las investigaciones realizadas por Pothoven y Beitz (1973) encontraron que el ayuno redujo la incorporación de acetato hacia

ácidos grasos en un 99%. Prior y Jacobson (1979) encontraron que la lipogénesis de acetato, lactato y glucosa se redujo en 92, 79 y 84% en el tejido adiposo de novillos que fueron sometidos a ayuno. Por el contrario, la infusión de nutrientes tiene efectos positivos en los índices de lipogénesis. La infusión de glucosa, lactato o propionato por 14 días incrementó la lipogénesis de acetato en el tejido subcutáneo adiposo (Prior y Scott, 1980). La glucosa y lactato incrementan la actividad de Acetil-coA carboxilasa. Por lo tanto, las cantidades de nutrientes en circulación pueden impactar significativamente en el metabolismo del tejido adiposo (Sainz, 1995).

Es conocido que el tipo y procesamiento del grano afectan la disponibilidad del almidón en el rumen y la digestibilidad en el tracto digestivo bajo. Por ejemplo, el rolado en húmedo del trigo, comparado con el rolado en seco tendió a incrementar la digestibilidad ruminal y postruminal del almidón, con un incremento significativo en la digestibilidad total, en este estudio se incrementó la grasa subcutánea, en riñón, corazón y pelvis, pero el grado de marmoleo no cambió significativamente, lo que sugiere que cambiando el sitio y grado de digestión del almidón puede cambiar el balance de nutrientes adsorbidos y por lo tanto la depositación y distribución de la grasa (Zinn, 1994). Quizás, incrementar la proporción de glucosa absorbida en relación a los ácidos grasos volátiles, podría favorecer a los tejidos adiposos que utilizan la glucosa más rápido para lipogénesis (tejido intramuscular).

Por otra parte, el rolado a vapor del grano de avena y cebada no tuvo efecto significativo en la depositación y distribución de la grasa en el cuerpo del animal, por lo que el efecto del procesamiento puede ser específico para ciertas fuentes de granos (Sainz, 1995).

Algunos aditivos alimenticios pueden influir en el depósito de grasa. Por ejemplo, la metionina de cinc incrementó los pesos de las canales de corderos en 7.4 kg y este incremento se atribuyó totalmente al incremento de grasa (Greene *et al.*, 1988). Una cantidad equivalente de óxido de cinc no produjo los mismos resultados, por lo tanto no se sabe si los cambios se debieron al cinc o a la metionina extra (Sainz, 1995).

Los efectos nutricionales también incluyen cambios en la depositación y distribución de grasa debido a los diferentes patrones de crecimiento o planos de nutrición durante la vida del animal (Sainz, 1995).

2.7 Ácidos grasos y calidad de la carne

En los últimos años ha habido un interés creciente en las estrategias para manipular la composición de ácidos grasos de la carne, debido a que se ha visto que la carne aporta la mayor parte de la grasa a la dieta de los humanos, especialmente de ácidos grasos saturados, los cuales han sido asociados con enfermedades de la vida moderna, especialmente en países desarrollados. Éstas incluyen varios tipos de cáncer y especialmente enfermedades coronarias (Wood *et al.*, 2003).

Los ácidos grasos están involucrados en varios aspectos tecnológicos de la calidad de la carne, debido a que tienen diferentes puntos de fusión, la variación en la composición de ácidos grasos tiene efectos importantes sobre la firmeza o suavidad de la grasa en la carne, especialmente la grasa subcutánea, intermuscular e intramuscular. El color de la grasa es otro aspecto de la calidad que se afecta por la composición de ácidos grasos (Wood *et al.*, 2003).

2.7.1 Composición de ácidos grasos en la carne

En el Cuadro 1 se observa la composición de ácidos grasos de la carne de cinco bisteces de res, cordero y cerdo. El contenido total de grasa de los bisteces (obtenida por disección) fue más alto en corderos (Wood *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Composición de grasa y ácidos grasos en bisteces de lomo de bovinos, corderos y cerdos.

	Bovinos	Corderos	Cerdos
Bistec entero			
Grasa ^a	15.6	30.2	21.1
Músculo^b			
Palmítico	25.0	22.2	23.2
Esteárico	13.4	18.1	12.2
Oléico	36.1	32.5	32.8
Linoléico	2.4	2.7	14.2
Alfa-linoléico	0.70	1.37	0.95
Araquidónico	0.63	0.64	2.21
Total ácidos grasos ^c	3.8	4.9	2.2
Grasa^b			
Palmítico	26.1	21.9	23.9
Esteárico	12.2	22.6	12.8
Oléico	35.3	28.7	35.8
Linoléico	1.1	1.3	14.2
Alfa-linoléico	0.48	0.97	1.43

Tomado de Wood *et al.* (2003)

^a % del bistec.

^b % del total de ácidos grasos.

^c % del músculo.

El total de ácidos grasos de la carne, incluye grasa unida al perimisio, la cual fue más alta en corderos. La diferencia más obvia es el porcentaje del ácido linoléico, el cual fue más alto en cerdos. Esto puede estar influido por el alto contenido de ácido linoléico que tienen los ingredientes sobre los que están basadas las dietas que consumen (Wood *et al.*, 2003).

2.7.2 Manipulación de la composición de ácidos grasos y su efecto en la calidad de la carne

Los componentes de la calidad de la carne influenciados por los ácidos grasos son la firmeza del tejido graso (dureza), vida de anaquel y sabor. Aunque hay quienes sugieren que los ácidos grasos provenientes de la dieta pueden influir sobre la ternura y jugosidad de la carne, sin embargo, es más probable que influyan en la concentración total en la dieta más que un ácido en específico (Wood *et al.*, 2003).

Los efectos de los ácidos grasos sobre la firmeza de la carne se deben a los diferentes puntos de fusión que tienen, por ejemplo a medida que aumentan los dobles enlaces en las cadenas de los ácidos grasos, disminuye el punto de fusión. Los efectos de los ácidos grasos sobre la vida de anaquel de la carne se explica debido a lo propenso que son los ácidos grasos insaturados a oxidarse, lo que provoca el desarrollo de rancidez a medida que se incrementa el tiempo de exhibición de la carne; el cambio en el color se debe a la oxidación de oxihemoglobina roja hacia metamioglobina café, esta reacción generalmente se desarrolla paralelamente a la oxidación (Wood *et al.*, 2003).

2.7.3 Ácidos grasos y calidad de la carne en rumiantes

El tejido adiposo de los rumiantes, de manera natural, es más firme que el de otras especies debido a que la mayoría de los ácidos grasos que contiene son saturados (Wood *et al.*, 2003). En ganado bovino muy gordo el tejido adiposo es blando y aceitoso, debido principalmente a un incremento en la concentración de ácido oléico en relación a esteárico y palmítico (Wood, 1984). Este mismo autor reportó una concentración para el ácido esteárico de 14.7% del total de ácidos grasos en una vaquilla joven y tan solo 2.7% en un novillo engordado a los 11 años de edad.

La concentración de ácido esteárico tiene una alta correlación con el punto de fusión de la grasa en corderos (Enser y Wood, 1993). En corderos se desarrolla grasa suave cuando son alimentados con dietas a base de concentrados, lo que se debe a una baja concentración de ácido esteárico, pero además un incremento en la depositación de ácidos grasos de cadena corta (C10-C17) formados a partir de metilmalonato (Wood *et al.*, 2003). Los ácidos grasos son responsables de los diferentes aromas y sabores que pueda presentar la carne, lo cual depende de la concentración en los tejidos de cada ácido graso (Campo *et al.*, 2003). Se ha correlacionado positivamente la concentración de ácido linolénico con la intensidad de olor y sabor. La carne de rumiantes tiene una alta concentración de ácidos grasos saturados, debido a que la mayoría (>90%) de los ácidos grasos insaturados que llegan al rumen son hidrogenados (Wood *et al.*, 2003). Se ha observado que las concentraciones de ácidos grasos

insaturados son más altas, tanto en corderos como en ganado vacuno, cuando consumen una dieta a base de forraje que cuando consumen una dieta concentrada en energía (Priolo *et al.*, 2001).

Diversos autores han encontrado que la oxidación de lípidos y el desarrollo del color en la carne de rumiantes está influenciado tanto por el perfil de ácidos grasos de la carne y por la concentración de vitamina E en los tejidos (Wood *et al.*, 2003).

2.8 Ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos conocidos como esenciales son el linoléico, linolénico y araquidónico, al igual que otros ácidos poliinsaturados forman parte de distintas membranas y de enzimas lipoproteicas, además participan en el transporte de lípidos. También se utilizan para la síntesis de prostaglandinas y tromboxonas, sustancias con actividad hormonal que regulan numerosas funciones celulares como la coagulación de la sangre, presión sanguínea y respuesta inmune (McDonald *et al.*, 1988). La necesidad de incluir estos ácidos en la ración, se debe a la imposibilidad, por parte de los animales, de introducir dobles enlaces entre el átomo de carbono número nueve y el grupo metilo terminal del ácido graso (Maynard y Loosli, 1987; McDonald *et al.*, 1988).

Los rumiantes cubren sus necesidades nutritivas fundamentalmente a base de forraje y, por tanto, reciben cantidades abundantes de linoléico e incluso superiores de ácido linolénico; en el rumen tiene lugar una notable

hidrogenación de los ácidos grasos insaturados, con una consecuente reducción de los ácidos grasos disponibles, a pesar de ello, es muy poco probable que los rumiantes presenten deficiencias de ácidos grasos esenciales (McDonald *et al.*, 1988).

En humanos es necesario consumir una cantidad abundante de ácidos grasos esenciales, en estudios recientes se demuestra que más del 25% de los adultos y una gran cantidad de niños presentan anormalidades, debido a que las fuentes de ácidos grasos esenciales que consumen son insuficientes (Katan *et al.*, 1995). Generalmente la población consume alimentos procesados en los que han sido destruidos los ácidos grasos esenciales. La carne es una fuente importante de ácidos grasos esenciales para el organismo, si se consume en una proporción adecuada, la carne de cerdo es la más rica en ácidos grasos seguida de la de cordero que es similar a la de ganado vacuno, por lo tanto una dieta baja en grasa sólo es saludable si se compensa consumiendo abundantes cantidades de ácidos grasos esenciales (Colman y Johnson, 1981).

2.9 Características generales del colesterol

2.9.1 Estructura química

El colesterol es un lípido anfipático, formado por un núcleo de ciclopentanoperhidrofenantreno con cuatro anillos fusionados, un grupo hidroxilo en el C-3, un centro insaturado entre los átomos de carbono 5 y 6, una cadena ramificada hidrocarbonada de 8 carbonos unida al anillo en la posición

17 y dos grupos metilo uno unido a la posición 10 y otro en la posición 13 (Bohinski, 1991).

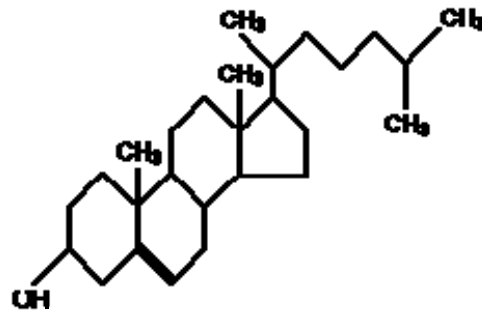


Figura 3. Estructura química del colesterol

2.9.2 Función del colesterol

El colesterol es un esteroide presente en todos los tejidos animales. El colesterol que está en los tejidos se encuentra como colesterol libre (no esterificado), también se puede encontrar unido covalentemente a ácidos grasos y ciertas proteínas. El colesterol libre es un componente integral de todas las membranas y sirve como precursor de hormonas esteroideas como estrógenos, testosterona y aldosterona así como para los ácidos biliares (Conn y Stumpf, 1996).

2.9.3 Síntesis del colesterol

El 75% del colesterol presente en el organismo es producido por el mismo organismo, el resto proviene de los alimentos consumidos. El 90% del colesterol es sintetizado en el hígado y en el intestino delgado, casi todas las células son capaces de sintetizar colesterol, con excepción de los glóbulos rojos (Bohinski, 1991; Conn y Stumpf, 1996).

2.9.4 Metabolismo del colesterol

2.9.4.1 Absorción

Después de la emulsificación y la solubilización micelar de los ácidos biliares, el colesterol dietético, así como el colesterol sintetizado en el hígado, se absorbe en el yeyuno proximal. Los ésteres de colesterol, comprenden de 10 a 15% del colesterol dietético total, los cuales son hidrolizados por una esterasa pancreática específica. La absorción de colesterol por los eritrocitos es un filtro que ocurre, primeramente, por difusión pasiva a través de un gradiente de concentración establecido por la solubilización del colesterol en los ácidos biliares (Hauser *et al.*, 1998).

Estudios realizados en humanos indican una gran variación en la eficiencia de absorción por el intestino, variando de 20 a 80%, con una variación individual, en el colesterol absorbido, de 40 a 60% (Ross, 2000). Esta variabilidad en la absorción, en parte debida por factores genéticos, puede contribuir a diferencias entre individuos en la concentración de colesterol en plasma en respuesta a consumo de colesterol dietético. Aunque los ácidos grasos son requeridos para la formación de micelas en el intestino, no existe evidencia de que el contenido de grasa, u otros constituyentes dietéticos, como la fibra, tengan un efecto significativo sobre la absorción del colesterol (Krzynowek, 1985).

2.9.4.2 Metabolismo

El colesterol es transportado de la circulación hacia otros tejidos por los quilomicrones y en menor cantidad por las lipoproteínas de alta densidad (HDL), principalmente como ésteres de colesterol. El colesterol liberado intracelularmente puede ser almacenado en los hepatocitos; reesterificado y secretado hacia el plasma en forma de lipoproteínas, sobre todo lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL). El colesterol libre y esterificado circula en la sangre de los humanos ligado, principalmente, a lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Krzynowek, 1985).

Todas las células son capaces de sintetizar colesterol en cantidades suficientes para sus necesidades metabólicas y estructurales. En general, la homeostasis del colesterol en el cuerpo está altamente regulada por un balance entre la absorción intestinal y la síntesis endógena, con la excreción de colesterol y ácidos biliares derivados de la oxidación de colesterol hepático (Krzynowek, 1985). La excreción de colesterol se lleva a cabo principalmente por sales biliares, las cuales son excretadas en la bilis (Bohinski, 1991; Stryer, 1995).

2.10 Colesterol y salud humana

El colesterol dietético es un tema importante de salud pública debido a que está relacionado con la incidencia de aterosclerosis (arterios, arteria; scleros, endurecimiento) (Figura 4.) (Park *et al.*, 1991). La Asociación Americana del Corazón recomienda consumir máximo 300 mg d⁻¹ de colesterol para hombres y

225 mg para mujeres (Krzynowek, 1985). El consumo de carne está asociado con la ingestión de grasa y proteína. Comúnmente la población humana tiende a ingerir grandes cantidades de alimentos de origen animal, los cuales contienen grandes cantidades de grasas saturadas y colesterol, el que hace que se eleve la cantidad de colesterol en el suero (Flynn *et al.*, 1985).

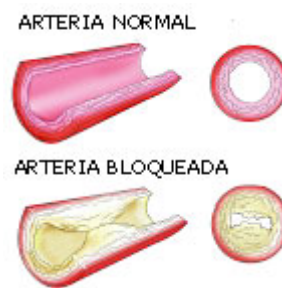


Figura 4. Áteroesclerosis en humanos por causa de colesterol.

Una persona sana regula la cantidad de colesterol que circula por la sangre, de modo tal que, cuando el consumo de colesterol proveniente de los alientos aumenta, la síntesis dentro del organismo disminuye, esta regulación hace que los niveles de colesterol se mantengan constantes (). Por lo tanto, tener colesterol no es malo, el problema radica en tener los niveles de colesterol muy elevados. En el Cuadro 2 se presentan los niveles adecuados de colesterol en humanos.

Cuadro 2. Perfil lipídico sanguíneo recomendado en humanos.

Tipo	mg dL⁻¹	mmol L⁻¹
Colesterol total	<200	5.2
LDL-colesterol	130-150	3.4-3.9
HDL-colesterol	>35	0.9
Triglicéridos	<200	2.3
Colesterol total/HDL-colesterol	<5	-

Últimamente y todavía con gran controversia, se ha relacionado un consumo alto de los productos que contienen ácidos grasos saturados con un aumento en el nivel de colesterol sanguíneo. La relación entre las grasas y colesterol en sangre y con el riesgo cardiovascular es compleja y no totalmente comprendida (Park *et al.*, 1991).

2.11 Literatura citada

- Arelovich, H. M., F. N. Owens, G. W. Horn, and J. A. Vizcarra. 2000. Effects of supplemental zinc and manganese on ruminal fermentation, forage intake and digestion by cattle fed prairie hay and urea. *J. Anim. Sci.* 78:2972-2979.
- Berg, R. T., and R. M. Butterfield. 1976. *New concepts of cattle growth*. Wiley and Sons, New York. 354 p.
- Bohinsky, E. D. 1991. *Bioquímica*. Ed. Addison Wesley Iberoamericana. México, D.F. 739 p.
- Bouchard, C., J. P. Despres, and J. M Mauriege. 1993. Genetic and nongenetic determinants of regional fat distribution. *Endocr. Rev.* 14:72-93.
- Campo, M. M, G. R. Nute, J. D. Wood, S. J. Elmore, D. S Mottram, and M. Enser. 2003. Modelling the effect of fatty acids in odour development of cooked meat *in vitro*: Part I-Sensory perception- *Meat Science*. 63:367-375.
- Conn, E. E., and P. K. Stumpf. 1996. *Bioquímica Fundamental*. Ed. Limusa. México, D.F. 750 p.
- Davis, C. D., D. M. Ney, and J. L. Greger. 1990. Manganese, iron and lipid interaction in rats. *J. Nutr.* 120:507-513.
- Enser, M., and J. D. Wood. 1993. Effect of time of year on fatty acid composition and melting point of UK lambs. *Proceedings of the 39th International Congress of Meat Science of Technology*. 2:74-97.
- Flynn, M. A., H. D. Naumann, G. B. Nolph, G. Krause, and M. Ellersieck. 1985. The effects of meat consumption on serum lipids. *Food Technol.* 39:58-61.

- Grace, D. N. 1973. Effect of high dietary levels on the growth rate and the level mineral elements in the plasma and soft tissues of sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 16: 177-180.
- Greene, L. W., D. K. Lunt, F. M. Byers, N. K. Chirase, C.E. Richmond, and G.T. Schelling. 1988. Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *J. Anim. Sci.* 66:1818-1823.
- Hartog, J. M., P. D. Verdow, M. Klompe, and J. M. J. Lamers. 1987. Dietary mackerel oil pigs: effects on plasma lipids, cardial sarcolemmal phospholipids and cardiovascular parameters. *J. Nutr.* 117:1371-1378.
- Hauser, H., J. H. Dyer, A. Nandy, M. A. Vega, and M. Werder. 1998. Identification of a receptor mediating absorption of dietary cholesterol in the intestine. *Biochemistry*. 37:17843-17850.
- Holman, R. T., and S. B. Johnson. 1981. Changes in essential fatty acid profile of serum phospholipids in human disease. *Progress in Lipids Research*. 20:67-73.
- Hood, R. L., and C. E. Allen. 1978. Lipogenesis in isolated intramuscular adipose tissue from four bovine muscles. *J. Anim. Sci.* 46:1626-1633.
- Hurley, L. S., C. L. Keen, B. Lonnerdal, and R. B. Rucker. 1987. *Trace Elements in Man and Animals*. University of California. 756 p.
- Katan, M. B., P. L. Zock, and R. P. Mensink. 1995. Trans fatty acids and their effects on lipoproteins in humans. *Annu. Rev. Nutr.* 15:93-473.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. Disponible en www.asas.org/jas/symposia/proceedings. (Consultado el 20 de septiembre de 2005).

- Klimis-Tavantzis, J. D., M. R. Leach, and M. P. Kris-Etherton. 1983. The effect of dietary manganese deficiency on cholesterol and lipid metabolism in the wistar rat and in the genetically hypercholesterolemic rico rat. *J. Nutr.* 113:328-336.
- Krzynowek, J. 1985. Sterol and fatty acids in seafood. *Food Technol.* 39:61-65.
- Leach, R. M., and E. D. Harris. 1997. Manganese. *In* O'Dell, B.L. and Sunde, R.A. (Eds.). *Hanbook of Nutritionally Essential Mineral Elements.* pp 335-357.
- Madsen, A., K. Jakobsen, and H. P. Mortensen. 1992. Influence of dietary fat on carcass fat quality. A review. *Anim. Sci.* 42:220-225.
- Maynard, L. A., and J. K. Loosli. 1978. *Animal Nutrition.* 6^a ed. McGraw Hill. 728 p.
- McDonald, P. R. y J. F. D. Greenhalgh. 1988. *Nutrición Animal.* Editorial Acribia S.A 4a Ed. Zaragoza, España. 555 p.
- Nürnberg, K., J. Wegner, and K. Ender. 1998. Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. *Livest. Prod. Sci.* 56:145-156.
- NRC. 1985. *Nutrient Requirements of Sheep.* Ed. National Academy Press. Sixth Revised Edition. Whashington. D.C. 99 p.
- Olson, P. A., D. R. Brink, D. T. Hickok, N. R. Carlson, and G. H. Deutscher. 1999. Effects of supplementation of organic and inorganic combinations of copper, cobalt, manganese, and zinc above nutrient requirement levels on postpartum two-year-old cows. *J. Anim. Sci.* 77:522-532.
- Park, Y. W., M. A. Kouassi, and K. B. Chin. 1991. Moisture, total fat and cholesterol in goat organ and muscle meat. *J. Food. Sci.* 55:1191-1193.

- Pothoven, M. A., and D. C. Beitz. 1973. Effect of adipose tissue site, animal weight and long-term fasting on lipogenesis in the bovine. *J. Nutr.* 103:468-475.
- Prior, R. L., and R. A. Scott. 1980. Effects of intravenous infusions of glucose, lactate, propionate or acetate on the induction of lipogenesis in bovine adipose tissue. *J. Nutr.* 110:2011-2019.
- Prior, R. L., and J. J. Jacobson. 1979. Effects of fasting and refeeding and intravenous glucose infusion on in vitro bovine adipose tissue. *J. Nutr.* 109:1279-1284.
- Rojas , M. A., A. Dyer, and W. A. Casta 1965. Manganese deficiency in the bovine. *J. Anim. Sci.* 24:664-667.
- Roos, E. 2000. Intestinal absorption of triglyceride and cholesterol. Dietary and pharmacological inhibition to reduce cardiovascular risk. *Atherosclerosis* 151:357-379.
- Sainz, R. D. 1995. Physiology and manipulation of fat distribution. *Aust. J. Agric. Res.* 45:1111-1123.
- Smith, S. B. 1995. Substrate utilization in ruminant adipose tissue. *In* Smith, S.B. and Smith, D.R. (Eds.). *The Biology of Fat in Meat Animals*. American Society of Animal Science, Champaign, IL. pp. 166-168.
- Smith, S. B., and J. D. Crouse. 1984. Relative contributions of acetate, lactate and glucose to lipogenesis in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissue. *J. Nutr.* 114:792-800.
- Stryer, L. 1995. *Bioquímica*. Ed. Reverte. Zaragoza, España. 642 p.
- Underwood, E. J. 1981. *The Mineral Nutrition of Livestock*. Segunda edición. Editorial CAB. 179 p.

- Underwood, E. J., and N. Suttle. 2003. Nutrición Mineral del Ganado. 3ª Ed. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 720 p.
- Wood, J. D. 1984. Fat deposition and the quality of fat tissue in meat animals. *In* Wiseman. J. (Ed.). Fats in Animal Nutrition. London, Butterworths. 407-435 pp.
- Wood, J. D., R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, E. Kasapidou, P. R. Sheard, and M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66:21-32.
- Zinn, R. A. 1994. Influence of flake thickness on the feeding value of steam-rolled wheat for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 72:21-28.

CAPÍTULO III

ÁCIDOS GRASOS Y COLESTEROL EN CANALES DE CORDEROS ALIMENTADOS CON DIFERENTE NIVEL DE MANGANESO EN LA DIETA

Galindo Dorantes Noé¹, Carlos Sánchez del Real^{1*}, Amilcar Renan Mejenes

Quijano², José Artemio Cadena Meneses¹

Maximino Huerta Bravo¹

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la inclusión de manganeso en la dieta de corderos en finalización sobre la concentración de ácidos grasos y colesterol en hígado, corazón, riñón, pierna, filete, costilla y espaldilla, se utilizaron, en un ensayo de alimentación, 45 corderos Criollo*Rambouillet, con un peso vivo inicial de 26.26 ± 1.77 kg. Los tratamientos correspondieron a cinco niveles de suplementación de manganeso a la dieta base (0, 40, 200, 500 y 1000 mg kg⁻¹ MS). Al final del ensayo de alimentación se sacrificaron tres corderos por tratamiento. La cuantificación de ácidos grasos se realizó mediante cromatografía de gases para esteres metílicos y el colesterol por colorimetría. Se utilizó un diseño completamente al azar y las medias, para efectos principales, se compararon por contrastes, ajustando los coeficientes para tratamientos no igualmente espaciados. Los niveles de manganeso en la dieta afectaron ($P < 0.05$) la concentración de esteárico y oléico, los cuales se incrementaron linealmente a medida que se incrementó la concentración

^{1*} Programa de Maestría en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Textcoco. Chapingo, México. C.P. 56230 * Tel. 595 95 2 16 84. carlos561@aol.com

² Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Departamento de Agroindustrias, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Textcoco. Chapingo, México. C.P. 56230

dietética de Mn, pero no afectaron ($P>0.05$) la concentración de palmítico, araquidónico, linoléico y mirístico. La concentración de ácidos grasos en tejidos de vísceras (hígado, corazón y riñón) fue menor ($P<0.05$) al contrastarla con la concentración en tejido muscular (costilla, filete, pierna y espaldilla). Los niveles de manganeso no afectaron ($P>0.05$) la concentración de colesterol. Hígado y riñón fueron los tejidos que más acumularon colesterol ($P<0.05$). Los niveles de manganeso en la dieta afectaron la concentración de ácidos grasos, pero no la de colesterol. La concentración de ácidos grasos y colesterol en los tejidos de corderos fue diferente.

Palabras clave: ovinos, grasa, mineral.

FATTY ACIDS AND CHOLESTEROL IN CARCASSES OF LAMBS FED DIETS WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF MANGANESE

SUMMARY

The objective of this research was to determine fatty acids and cholesterol concentrations in liver, heart, kidney, rump, loin, rib and chuck rib when different levels of Manganese were included in the diet of Criollo*Ramboulliet lambs. Forty-five lambs were used in the feeding trial, with a mean initial live weight of 26.26 ± 1.77 kg. Five levels of Manganese supplements to the diet were evaluated: 0, 40, 200, 500 and 1000 mg Mn kg⁻¹ of diet on a DM basis. At the end of the experimental feeding, three lambs per level of added Mn were slaughtered. Fatty acids were determined by gas chromatography for methyl-esters and cholesterol by colorimetry. The experimental design was completely random, means of main effects were compared by contrasts for non-symmetric treatments. Increased levels of Mn in the diet increased ($P < 0.05$) estearic and oleic concentrations, but showed no effect ($P > 0.05$) on the concentrations of palmitic, araquidonic, linoleic and miristic fatty acids. Gut tissues (liver, heart and kidney) showed lower ($P < 0.05$) concentrations of fatty acids than meat tissues (rump, loin, rib and chuck rib). Cholesterol concentration was not determined ($P > 0.05$) by Mn addition to the diet. Liver and kidney showed the highest ($P < 0.05$) cholesterol accumulation. It was concluded that increased levels of added Manganese to the diet showed effect on fatty acids concentration but not on cholesterol concentration. Fatty acids and cholesterol concentrations were different among lamb tissues.

Keywords: sheep, fat, mineral.

4.1 Introducción

El consumo de manganeso está relacionado con el metabolismo de lípidos. Particularmente, aumenta la biosíntesis de colesterol en hígado de ratas al actuar entre acetato y mevalonato y estimular la actividad de la enzima farnesil-pirofosfato sintetasa (Jenkins y Kramer, 1991). En cerdos, altas concentraciones dietéticas de manganeso reducen la deposición de grasa y el espesor de grasa dorsal (Underwood y Suttle, 1999).

Klimis *et al.* (1983) demostraron que la deficiencia de manganeso no afectó el metabolismo de ácidos grasos y colesterol en gallinas de postura. Jenkins y Kramer (1991) encontraron que concentraciones de 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS en la dieta de becerros incrementaron las concentraciones de ácido linoléico y linolénico, y redujeron la concentración de araquidónico en corazón e hígado, sugiriendo que altas concentraciones de manganeso interfieren con la desaturación y elongación de los ácidos grasos esenciales. Estos mismos autores no encontraron efecto de altas concentraciones de manganeso en la dieta sobre la concentración de ácidos grasos en plasma de becerros. En becerros, altos niveles (500 mg kg⁻¹ MS) y muy altos niveles (1000 mg kg⁻¹ MS) de manganeso en la dieta no tuvieron efecto en el perfil de ácidos grasos de corazón (Jenkins y Kramer, 1991). Curran y Azarnoff (1961) registraron un incremento de triacilgliceroles en hígado de animales de laboratorio al consumir niveles altos de manganeso.

La mayoría de los estudios para evaluar los efectos de Mn en el metabolismo de las grasas se han realizado utilizando consumos relativamente bajos de este mineral, hay poca información disponible para concentraciones altas de manganeso en la dieta. Además la mayoría de los estudios se han realizado en otras especies animales, por consiguiente en ovinos los estudios son muy escasos.

El objetivo de la investigación fue evaluar la concentración de ácidos grasos y colesterol en tejidos de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

4.2 Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el módulo de ovinos y caprinos de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. Se evaluó el efecto de la adición de diferentes niveles de manganeso en la dieta base de corderos en finalización. Los niveles de suplementación fueron: 0, 40, 200, 500 y 1000 mg kg⁻¹ MS, utilizando como fuente MnSO₄. Los tratamientos también incluyeron la cantidad de Mn que aportaron los ingredientes de la dieta.

En el ensayo de alimentación, con una duración de 55 días, se utilizaron 45 corderos, Criollo*Rambouillet con un peso vivo promedio de 26.26 ± 1.77 kg y edad promedio de 6 meses. Al inicio del experimento los corderos fueron identificados y pesados individualmente, se distribuyeron al azar a cada uno de los tratamientos y sus repeticiones. Se desparasitaron con 0.5 ml cordero⁻¹ de ivermectina y fueron vacunados, vía subcutanea, contra *clostridium perfringes* tipo C y D a razón de 2.5 ml cordero⁻¹. En el Cuadro 3 se presenta la composición nutritiva, determinada en laboratorio de la dieta base experimental utilizada en este estudio.

Cuadro 3. Ingredientes y composición nutritiva de la dieta base experimental.

Ingrediente	% en dieta
Sorgo	65.5
Rastrojo	10
Cascarilla de soya	6
Melaza	5
Pasta de soya	6
Gluten de maíz	4
Aceite de soya	1.5
Mezcla mineral	1.0
CaCO ₃	0.5
Urea (46 % nitrógeno)	0.5
Composición nutritiva determinada en laboratorio	
Materia seca, %	87.70
Proteína cruda, %	14.70
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹ MS ^{&}	2.88
Fibra cruda, %	7.64
Extracto etéreo, %	4.50
Cenizas, %	4.89
Manganeso*, mg kg ⁻¹ MS	59.76

* Los niveles de manganeso evaluados equivalen a 59.76 mg kg⁻¹ MS más el manganeso suplementado en cada uno de los niveles.

Aporte mineral de la dieta, determinada en laboratorio: Cu, 10 mg kg⁻¹ MS; Zn, 30 mg kg⁻¹ MS; Fe, 66.4 mg kg⁻¹ MS; P, 0.4 %; Ca, 0.93 %; Mg, 0.24 %; Na, 0.50 %.

[&] valor estimado

El alimento se ofreció *ad libitum* en tres ofrecimientos diarios, 40% a las 7:00 horas, 30% a las 13:00 horas y el 30% restante a las 17:00 horas, ofreciendo el 5% más del consumo del día anterior.

Al finalizar el ensayo de alimentación se sacrificaron tres corderos por cada tratamiento, de la forma tradicional a como se realiza en la zona de estudio. Inmediatamente después del sacrificio se pesaron las canales y se colectaron muestras de riñón, hígado y corazón, posteriormente las canales se refrigeraron a 5 °C durante 10 horas. Transcurrido este tiempo se pesaron las canales y se procedió a realizar los cortes de la canal para separarla en pierna, costilla, filete

y espaldilla; de cada una de estas piezas se colectaron muestras de aproximadamente 100 g, las cuales se refrigeraron a -4 °C para posteriormente realizar los análisis de ácidos grasos y colesterol.

Para la determinación de ácidos grasos y colesterol las muestras de tejido se secaron a 60 °C durante 72 horas y posteriormente se procedió a la extracción de la grasa mediante la técnica de extracto etéreo (AOAC, 2000). La cuantificación de los ácidos grasos se hizo mediante cromatografía de gases para esteres metílicos (AOAC, 2000). Las determinaciones se hicieron en un cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem 9000, el cual cuenta con un integrador P.E. Nelson 1022 con un detector de ionización de flama (FID). Se utilizó una columna polar Resteck Stabilwax (PEG): 30mX0.53mm D.I y 0.5 micromilímetros de espesor de fase estacionaria. La determinación de colesterol se realizó mediante el método de Huang (1976), el cual se basa en la reacción colorimétrica que se lleva a cabo entre el colesterol presente en la muestra y el reactivo de Lieberman-Burchard estabilizado, produciendo un complejo de color verde, posteriormente se cuantifica fotométricamente la absorbancia de la muestra leyendo a una longitud de onda de 610 nm. Cada determinación en el laboratorio se realizó por triplicado.

Las variables de respuesta fueron la concentración de ácido esteárico, oléico, palmitico, linoléico, araquidónico, mirístico y colesterol ((mg (100g)⁻¹) en tejidos de corderos.

Se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco niveles de manganeso, y tres repeticiones por nivel. Las variables de respuesta fueron analizadas utilizando el paquete estadístico SAS (2001); mediante el siguiente modelo:

$Y_{ijk} = \mu + t_i + w_j + t^*w_{ij} + E_{ijk}$; donde Y_{ijk} corresponde al valor de la variable respuesta; μ , es la media general; t_i , es el efecto del tratamiento i ; w_j , efecto del tejido j ; t^*w_{ij} , es la interacción tratamiento por tejido y E_{ijk} es el error experimental. Las medias para efectos niveles de manganeso se compararon por medio de contrastes, ajustando los coeficientes para tratamientos no igualmente espaciados, para comparar los niveles de interacciones se utilizó la opción PDIF de LSMEANS en el procedimiento GLM (SAS, 2001). Las medias de concentración de colesterol en tejidos y por tratamiento se compararon mediante el procedimiento de Tukey. Las concentraciones de ácidos grasos y colesterol en tejidos de vísceras (hígado, corazón y riñón) se compararon por contraste con las concentraciones de tejido muscular (pierna, filete, costilla y espaldilla).

En todos los casos, las diferencias se consideraron significativas cuando la probabilidad de error fue menor a 0.05. Se presentan los efectos principales promedios por nivel de manganeso y de tejido y las interacciones que resultaron significativas.

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Efecto de los niveles de manganeso suplementario

Los niveles de manganeso en la dieta afectaron las concentraciones de los ácidos esteárico y oléico, pero no la concentración de palmítico, araquidónico, linoléico y mirístico (Cuadro 4). Se observó un incremento lineal en la concentración de ácido esteárico ($P=0.05$, $R^2=0.627$) de 1331 a 1959 mg $(100g)^{-1}$; y de ácido oléico ($P=0.04$, $R^2=0.717$) de 590 a 1006 mg $(100g)^{-1}$ al incrementar la suplementación de Mn de 0 a 1000 mg kg^{-1} MS.

Cuadro 4. Contenido de ácidos grasos en la canal de corderos alimentados con diferente nivel de manganeso en la dieta (Promedios de siete tejidos).

Ácido graso	Manganeso (mg kg^{-1} MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg $(100g)^{-1}$					
Esteárico^a	1331.4	1696.8	1566.3	1733.4	1959.9	648.08
Oléico^b	590.1	899.4	840.3	879.1	1006.4	108.03
Palmítico	188.2	251.2	218.2	222.07	259.9	24.99
Araquidónico	93.8	103.7	83.2	92.37	53.6	31.99
Linoléico	51.1	44.9	25.5	27.38	21.6	21.02
Mirístico	33.6	32.8	43.4	36.43	32.6	5.86

^a Efecto lineal $P = 0.05$, $R^2 = 0.627$

^b Efecto lineal $P = 0.04$, $R^2 = 0.717$

* Error estándar de la media

La mayor acumulación de esteárico puede estar relacionada a que altas concentraciones de manganeso en dieta interfieren con la desaturación y elongación en la transformación metabólica de esteárico a araquidónico y de linoléico a araquídico (Jenkins y Kramer, 1991). La mayor concentración de esteárico, al ser un ácido graso saturado, puede estar relacionada con la firmeza de la grasa de la canal. Tietz (1967) y Curran (1974) realizaron estudios *in vitro* y observaron que la adición de manganeso incrementó la síntesis de ácidos grasos.

No se observó efecto de la suplementación de manganeso en la concentración de ácido linoléico ($P=0.76$) y araquidónico ($P=0.40$). Jenkins y Kramer (1991), en estudios con becerros alimentados con 200 mg kg^{-1} MS en la dieta no observaron efecto en la concentración de ácidos grasos en hígado y canal; pero con 1000 mg kg^{-1} MS reportaron incrementos de las concentraciones de ácido oléico, linoléico y linolénico, y reducciones en araquidónico, sugiriendo, que altas concentraciones de manganeso interfieren con el metabolismo de los ácidos grasos esenciales. Klimis *et al.* (1983), no observaron efecto del nivel de manganeso sobre la síntesis de ácidos grasos en ratas alimentadas con una dieta deficiente (0.12 mg kg^{-1} MS) y una normal ($100.12 \text{ mg kg}^{-1}$ MS). Fletcher y Myant (1961) señalan que el manganeso actúa como un cofactor de la AcetylCoA carboxilasa en células hepáticas de ratones. Por tanto, una deficiencia de manganeso puede ocasionar una reducción en la actividad de dicha enzima y en consecuencia ocasionar una reducción en la síntesis de ácidos grasos.

4.3.2 Ácidos grasos en tejidos

La concentración de esteárico en tejido muscular (costilla, espaldilla, filete y pierna) fue 95 % superior ($P<0.01$) con respecto a la media de tejido de vísceras (riñón, hígado y corazón) (Cuadro 5). La mayor acumulación de esteárico en tejido muscular, puede estar relacionado a que las dietas a base de concentrados tienen altas concentraciones de ácidos con una longitud de cadena de 18 carbonos y con dobles enlaces, los cuales en la mayoría son saturados en el rumen conduciendo a la formación de ácido esteárico (Bas *et*

al., 2000). Lough *et al.* (1992) registraron en corderos finalizados a base de concentrados, que los ácidos más abundantes en el músculo *longissimus* fueron oléico, palmítico y esteárico, mientras que en tejido adiposo lo fueron oléico, esteárico y palmítico, lo anterior permitió a los autores inferir que la concentración de los ácidos depende del tejido. La concentración de oléico en tejido muscular (espaldilla, filete y pierna) resultó 100 % mayor ($P<0.01$) a la concentración promedio de tejido de vísceras (riñón, hígado y corazón) lo anterior puede estar asociado a la mayor síntesis de novo de ácidos grasos que realizan los tejidos musculares con respecto a los de vísceras (Pothoven y Beitz, 1973).

Cuadro 5. Concentración de ácidos grasos en diferentes tejidos de corderos (promedio de cinco niveles de Mn en la dieta).

Ácido graso	Tejido*							EEM**
	Costilla	Espaldilla	Filete	Pierna	Hígado	Corazón	Riñón	
	mg (100g) ⁻¹							
Esteárico^a	1757.4	2359.4	2414.2	1757.4	732.5	1684.2	764.8	179.45
Oléico^a	1071.9	1421.5	1169.1	1061.9	279.4	543.7	272.2	94.59
Palmítico^a	290.4	388.7	303.2	298.4	86.3	136.8	66.7	21.88
Araquidónico^b	32.2	35.2	45.6	36.2	175.9	125.5	137.2	28.97
Linoléico^c	29.1	32.9	28.9	27.4	34.9	23.7	65.3	18.69
Mirístico^a	36.9	60.2	36.2	34.9	35.9	25.5	23.2	5.12

* Se realizó el contraste de Hígado, Corazón y Riñón vs Costilla, Espaldilla, Filete y Pierna. Resultando las siguientes significancias:

^a $P<0.01$, $R^2>0.53$

^b No estimable

^c $P>0.45$ $R^2=0.31$

** Error estándar de la media

Estos mismos autores observaron que en tejido adiposo las concentraciones de los ácidos grasos fueron mayores que en el músculo *longissimus*, lo que puede estar asociado a la mayor actividad lipogénica del tejido adiposo con respecto a los otros tejidos (Pothoven y Beitz, 1973; Olle y Dahl, 1995).

Rodríguez y Vicente (2003) encontraron que la mayor concentración de ácido oléico se presentó en filete y pierna. Acebal *et al.* (1997) encontraron una correlación negativa para la concentración en plasma de ácido oléico con el grado de engrasamiento en las canales de corderos.

En este estudio los tejidos musculares presentaron la mayor concentración de ácido palmítico ($P < 0.01$), siendo superior en 100 % con respecto a la media de los tejidos de vísceras. El mirístico fue el ácido de menor concentración en los tejidos en estudio, lo que puede ser benéfico al reducir el nivel de colesterol en plasma ligado a lipoproteínas de baja densidad y en consecuencia reducir el riesgo de enfermedades coronarias en humanos (Ashes *et al.*, 1997). En este estudio se observó que los ácidos más abundantes en la canal de corderos fueron el esteárico, oléico y palmítico, coincidiendo con lo registrado por Velasco *et al.* (2004); Boles *et al.* (2005) y Rowe *et al.* (1999).

4.3.3 Interacción del nivel de manganeso con la concentración de ácidos grasos en tejidos

En el Cuadro 6 se presenta la significancia y probabilidad de las interacciones de nivel de manganeso por tejido sobre la concentración de ácidos grasos en corderos. La interacción que resultó significativa ($P = 0.01$) fue para palmitico, hubo una tendencia de oléico ($P = 0.05$) y mirístico ($P = 0.06$).

Cuadro 6. Interacciones y probabilidades de los niveles de manganeso con tejidos en canales de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Interacción	Pr>F
Esteárico	NS	0.1261
Oléico	NS	0.0514
Palmítico	*	0.0181
Araquidónico	NS	0.7661
Linoléico	NS	0.7087
Mirístico	NS	0.0560

* = Significativo

NS = No Significativo

La suplementación con 40, 200, 500 y 1000 mg de Mn kg⁻¹ de MS se relacionó con la mayor concentración (P=0.01) de palmítico en tejido muscular (pierna, costilla, espaldilla y filete) y menor (P=0.01) en tejido de vísceras (hígado, corazón y riñón) (Cuadro 7). Lo anterior probablemente esta relacionado al metabolismo diferente del tejido muscular con respecto al tejido de vísceras. Lough *et al.* (1992) observaron que el ácido palmítico fue el segundo más abundante en el músculo *longissimus* en corderos finalizados en corral. La acumulación de ácidos grasos saturados, como palmítico, está relacionada con la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados en el rumen de los corderos. Rowe *et al.* (1999) encontraron una correlación positiva entre el incremento en los niveles de colesterol y la concentración de palmítico, mirístico y linoléico en corderos finalizados en sistemas intensivos.

Cuadro 7. Media de mínimos cuadrados para contenido de ácido palmítico en tejidos de corderos alimentados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)				
	0	40	200	500	1000
	mg (100g) ⁻¹				
Costilla	219.33 ^{bc}	354.54 ^{ab}	278.45 ^b	225.16 ^{bc}	481.48 ^a
Espaldilla	268.71 ^b	486.17 ^a	421.69 ^{ab}	428.84 ^a	341.34 ^{ab}
Pierna	219.33 ^{bc}	351.54 ^{ab}	278.45 ^b	225.16 ^{bc}	480.41 ^a
Filete	234.51 ^{bc}	272.33 ^b	242.46 ^b	447.92 ^a	252.61 ^b
Hígado	163.99 ^{bc}	72.42 ^c	69.91 ^c	55.1 ^c	71.11 ^c
Corazón	130.63 ^{bc}	165.26 ^{bc}	192.22 ^{bc}	95.3 ^c	117.51 ^{bc}
Riñón	81.24 ^c	53.58 ^c	43.95 ^c	76.97 ^c	71.48 ^c

^{abc} medias sin una literal en común son diferentes

Error estándar de la media = 57.90

4.3.4 Colesterol en tejidos

La suplementación de manganeso en la dieta, no afectó (P=0.83) la concentración de colesterol en los tejidos de corderos (Cuadro 8). Esto coincide con los resultados de Klimis *et al.* (1983) con ratas alimentadas con dietas deficientes y niveles adecuados de manganeso. En cambio, Kawano *et al.* (1987) y Davis *et al.* (1990) observaron en corderos y ratas, respectivamente, niveles de colesterol menores con dietas deficientes en manganeso. Klimis *et al.* (1983b) no observaron efecto del manganeso en la concentración de colesterol en aves.

El contenido de colesterol en los tejidos fue diferente (P<0.01). La mayor concentración de colesterol se presentó en hígado y riñón (Cuadro 8) y la menor en espaldilla,

Cuadro 8. Contenido de colesterol en tejidos de corderos alimentados con diferente nivel de manganeso.

Tejido	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					Promedio
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Corazón	64.58	56.08	54.82	40.23	62.96	54.09^b
Costilla	28.72	24.94	31.20	31.33	18.88	28.06^b
Espaldilla	16.53	36.83	26.40	26.03	20.49	24.83^b
Hígado	175.93	194.15	172.37	178.75	138.50	173.23^a
Filete	26.67	27.29	26.99	25.35	36.35	27.84^b
Pierna	33.08	24.21	32.65	25.91	47.83	31.79^b
Riñón	181.81	121.28	170.16	156.91	219.96	169.00^a
Promedio	75.33^a	69.26^a	73.51^a	69.22^a	77.85^a	

ab Promedios con diferente literal dentro de hilera o columna son diferentes

*Error estándar de la media para tejido = 7.16

filete, costilla, pierna y corazón. La mayor concentración en hígado puede estar asociada a que el colesterol dietético se absorbe en el intestino delgado y es incorporado a moléculas (quilomicrones, lipoproteínas de alta y baja densidad) que lo transportan a través de la sangre y lo conducen preferentemente a hígado, donde una parte se usará como precursor de diferentes sustancias y otra parte se eliminará (Kawano *et al.*, 1987). Además, el hígado es el órgano con la mayor capacidad de síntesis de colesterol (Olle y Dahl, 1995). Rowe *et al.* (1999) observaron una mayor concentración de colesterol en corderos que fueron finalizados en pastoreo que aquellos finalizados a base de concentrados. En el estudio realizado por Rodríguez y Vicente (2003) encontraron, en corderos alimentados con diferentes concentraciones de cinc en la dieta, las mayores concentraciones de colesterol en hígado y riñón.

Park *et al.* (1991) indican que la concentración de colesterol en cabras fue mayor en hígado y riñón, coincidiendo con lo observado en el presente estudio.

Salvatori *et al.*, (2004) observaron concentraciones de 33.9 a 75.3 mg (100g)⁻¹ colesterol en tejidos de corderos, estos datos coinciden con los del presente estudio, a excepción de hígado y riñón.

4.4 Conclusiones

Los niveles de manganeso en la dieta para corderos en finalización afectaron el contenido de esteárico y oléico pero no la de palmítico, araquidónico, linoléico, mirístico y colesterol tejidos de corderos.

Las concentraciones de esteárico y oléico se incrementaron linealmente a mayor nivel de manganeso en la dieta.

Los ácidos más abundantes en los tejidos de la canal de corderos fueron el esteárico, oléico y palmítico.

La concentración de ácidos grasos fue mayor en tejido muscular y menor en tejido de vísceras.

La concentración de colesterol fue mayor en tejido de vísceras y menor en tejido muscular.

4.5 Implicaciones

Los resultados del presente estudio, coinciden parcialmente con la literatura publicada. Hace falta más investigación para esclarecer el papel del manganeso en el metabolismo de los ácidos grasos y colesterol en corderos.

El ácido mirístico fue el de menor concentración, lo cual es de gran importancia al considerar que este ácido está involucrado con el incremento de los niveles de colesterol en plasma de humanos.

Consumir tejido de vísceras de corderos puede ser riesgoso para la salud humana, ya que contienen más colesterol que el tejido muscular.

4.6 Literatura citada

- Acebal M., A., L. A. Maiztegui, J. Amelong y L. A. Picardi. 2000. Evaluación de características de la canal en corderos con $\frac{3}{4}$ de genotipo de la raza Texel. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 8(2):55-58.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA. 650 p.
- Ashes, J. R., S. K. Gulati, and T. W. Scout. 1997. Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *In* Symposium: New Approaches to Changing Milk Composition. J. Dairy. Sci. 80:2204-2212.
- Bas, P., and P. Morand-fehr. 2000. Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposits. Livest. Prod. Sci. 64:61-79.
- Boles, J. A., R. A. Kott, P. G. Hatfield, J. W. Bergman, and C. R. Flynn. 2005. Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid, of lamb. J. Anim. Sci. 83:2175-2181.
- Curran, G. L., and D. L. Azarnoff. 1961. Effect of certain transition elements on cholesterol biosynthesis. Fed. Proc. 20:109-112.
- Curran, G. 1974. Effect of certain transition group elements on the hepatic synthesis of cholesterol in the rat. J. Biol. Chem. 210:765-770.
- Davis, C. D., D. M. Ney, and J.L. Greger. 1990. Manganese, iron and lipids interactions in rats. J. Nutr. 120:507-513.

- Fletcher, K., and N. Myant. 1961. Effect of some cofactors on the synthesis of fatty acids and cholesterol in cell-free preparations of rat liver. *J. Physiol.* 155:498-505.
- Huang, F. 1976. Determination of cholesterol. *Food Technol.* 33:260-267.
- Jenkins, J. K., and J. K. G. Kramer. 1991. Effect of excess dietary manganese on lipid composition of calf blood plasma, heart and liver. *J. Dairy Sci.* 74:3944-3948.
- Kawano, J., D. M. Ney, C. L. Keen, and B. O. Schneeman. 1987. Altered high density lipoprotein composition in manganese-deficient Sprague-dawley and wistar rat. *J. Nutr.* 117:902-906.
- Klimis-Tavantzis, J. D., M. R. Leach, and M. P. Kris-Etherton. 1983. The effect of dietary manganese deficiency on cholesterol and lipid metabolism in the wistar rat and in the genetically hypercholesterolemic rico rat. *J. Nutr.* 113:328-336.
- Klimis-Tavantzis, J. D., M. R. Leach, and M. P. Kris-Etherton. 1983. The effect of dietary manganese deficiency on cholesterol and lipid metabolism in the estrogen-treated chicken and the laying hen. *J. Nutr.* 113:320-327.
- Lough, D. S., M. D. Solomon, T. S. Rumsey, T. H. Elsasser, L. L. Slyter, S. Kalh, and G. P. Lynch. 1992. Effects of dietary canola seed and soy lecithin in high-forage diets on cholesterol content and fatty acids composition of carcass tissues of growing ram lamb. *J. Anim. Sci.* 70:1153-1158.
- Olle Dahl. 1995. *Industrialización de la Grasa de Animales de Abasto*. Ed. Acribia. 455 p.

- Park, Y. W., M. A. Kouassi, and K. B. Chin. 1991. Moisture, total fat and cholesterol in goat organ muscle meat. *J. Food Sci.* 56(5):1191-1193.
- Pothoven, M. A., and D. C. Beitz. 1973. Effect of adipose tissue site, animal weight and long-term fasting on lipogenesis in the bovine. *J. Nutr.* 103:468-475.
- Priolo, A., D. Micol, J. Agabriel, S. Prache, and E. Dransfield. 2001. Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Sci.* 62:179-185
- Rodríguez P., J. L. y P. M. Vicente 2003. Influencia del cinc en la dieta sobre componentes grasos de la canal de corderos. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad autónoma Chapingo. 85 p.
- Rowe, A., F. A. F. Macedo, J. V. Visentainer, N.E. Souza, and M. Matsushita 1999. Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. *Meat Sci.* 51:283-288.
- Salvatori, G., L. Pantaleo, C. Di Cesare, G. Maiorano, F. Filetti, and G. Oriani. 2004. Fatty acid composition and cholesterol content of muscles as related to genotype and vitamin E treatment in crossbred lambs. *Meat. Sci.* 67:45-55.
- SAS. 2001. S.A.S. User's Guide: Statistics. SAS institute Inc., Cary, N.C.
- Tietz, A. 1967. Studies on the mechanism of fatty acid synthesis. IV. Biosynthesis of long-chain acids in a reconstructed system of soluble enzymes from chicken liver. *Biochim. Biophys. Acta.* 25:303-310.

- Underwood, E. J., and N. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3^a edition. Fundation for Animal Health and Welfare. Penicuik. Edinburg. UK. 637 p.
- Velasco, S., V. Cañeque, S. Lauzurica, C. Pérez, and F. Huidobro. 2004. Effect of different feeds on meat quality and fatty acid composition of lambs fattened at pasture. Meat Sci. 66:457-465.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de análisis de varianza para la concentración de mirístico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Fuente Variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	R ²	CV
TRAT	4	1850.7391	462.68	0.87	0.4866	0.6976	47.94
TEJ	6	18199.92543	3033.32	5.73	0.0001		
TRAT*TEJ	24	37898.36713	1579.098	2.98	0.0006		
ERROR	138	40899.9649	296.3766				
TOTAL	220	135270.5765					

Anexo 2. Tabla de análisis de varianza para la concentración de palmítico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Fuente Variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	R ²	CV
TRAT	4	139392.032	34848.008	1.59	0.1919	0.9602	17.52
TEJ	6	2259280.846	376546.808	17.18	<0.0001		
TRAT*TEJ	24	887853.371	36993.890	1.69	0.0603		
ERROR	148	228427.765	1543.431				
TOTAL	231	5748816.715					

Anexo 3. Tabla de análisis de varianza para la concentración de esteárico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Fuente Variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	R ²	CV
TRAT	4	6990900.57	1747725.14	1.43	0.2397	0.9099	23.29
TEJ	6	68645733.82	11440955.64	9.33	<0.0001		
TRAT*TEJ	24	51485330.10	2145222.09	1.75	0.0487		
ERROR	146	22234476.8	152290.9				
TOTAL	229	246864001.8					

Anexo 4. Tabla de análisis de varianza para la concentración de oléico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Fuente Variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	R ²	CV
TRAT	4	3272272.89	818068.22	2.24	0.0787	0.9288	24.16
TEJ	6	31321229.77	5220204.96	14.27	<0.0001		
TRAT*TEJ	24	12763905.35	531829.39	1.45	0.1327		
ERROR	141	5827711.09	41331.28				
TOTAL	224	81955102.62					

Anexo 5. Tabla de análisis de varianza para la concentración de linoléico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Fuente Variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	R ²	CV
TRAT	4	20596.24	5149.06	0.39	0.8117	0.9863	29.08
TEJ	6	29687.98	4947.99	0.38	0.8884		
TRAT*TEJ	24	190015.66	7917.31	0.61	0.9038		
ERROR	114	12391.91	108.70				
TOTAL	190	905402.33					

Anexo 6. Tabla de análisis de varianza para la concentración de araquidónico en tejidos de corderos en finalización, con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Fuente Variación	GL	Suma cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr>F	R ²	CV
TRAT	4	75815.51	18953.87	1.66	0.1915	0.6737	89.83
TEJ	6	405070.46	67511.74	5.92	0.0007		
TRAT*TEJ	21	329972.55	15712.97	1.38	0.2233		
ERROR	65	602160.145	9264.002				
TOTAL	120	1845776.74					

Anexo 7. Ácidos grasos en hígado de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Mirístico	32.26 ^a	24.27 ^a	35.77 ^a	54.31 ^a	23.00 ^a	10.47
Palmítico	163.99 ^a	81.19 ^a	62.84 ^a	55.62 ^a	70.86 ^a	32.91
Esteárico	681.51 ^a	931.55 ^a	686.64 ^a	698.2 ^a	675.59 ^a	76.28
Oléico	194.03 ^b	358.62 ^{ab}	504.80 ^a	245.67 ^{ab}	169.62 ^b	71.33
Linoléico	10.56 ^b	121.02 ^a	17.63 ^b	28.86 ^b	19.57 ^b	14.27
Araquidónico	174.75 ^{bc}	296.51 ^a	270.88 ^{ab}	95.15 ^c	102.32 ^c	28.51

^{abc} Medias con distinta literal dentro de la misma fila son diferentes (Tukey, α=0.05)

* Error estándar de la media

Anexo 8. Ácidos grasos en riñón de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Mirístico	28.41 ^a	27.36 ^a	19.39 ^a	15.47 ^a	9.40 ^a	2.41
Palmítico	86.02 ^a	53.58 ^{ab}	39.27 ^b	79.94 ^a	88.35 ^a	3.43
Esteárico	602.08 ^b	754.13 ^b	1150.39 ^a	756.66 ^{ab}	877.64 ^{ab}	39.89
Oléico	218.77 ^a	289.13 ^a	346.19 ^a	307.28 ^a	314.63 ^a	14.62
Linoléico	269.45 ^a	46.45 ^a	30.90 ^a	13.89 ^a	8.42 ^a	34.21
Araquidónico	154.72 ^a	89.41 ^a	83.9 ^a	311.44 ^a	32.85 ^a	41.73

^{abc} Medias con distinta literal dentro de la misma fila son diferentes (Tukey, α=0.05)

* Error estándar de la media

Anexo 9. Ácidos grasos en corazón de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Mirístico	21.27 ^a	20.34 ^a	31.47 ^a	32.39 ^a	18.94 ^a	2.40
Palmítico	125.27 ^{ab}	165.25 ^a	169.57 ^a	82.91 ^b	117.51 ^{ab}	7.61
Esteárico	1259.61 ^a	1274.06 ^a	1589.67 ^a	2445.03 ^a	1404.71 ^a	190.35
Oléico	352.41 ^a	481.18 ^a	583.29 ^a	829.57 ^a	423.98 ^a	60.17
Linoléico	18.42 ^a	23.99 ^a	18.92 ^a	26.28 ^a	18.04 ^a	2.79
Araquidónico	229.55 ^a	77.05 ^a	119.11 ^a	218.74 ^a	38.80 ^a	28.75

abc Medias con distinta literal dentro de la misma fila son diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

* Error estándar de la media

Anexo 10. Ácidos grasos en filete de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Mirístico	42.82 ^a	35.16 ^a	32.82 ^a	45.21 ^a	23.82 ^a	2.27
Palmítico	261.96 ^a	313.81 ^{ab}	242.45 ^a	447.92 ^a	252.60 ^a	15.62
Esteárico	2234.38 ^b	2291.91 ^b	1870.74 ^b	3676.76 ^a	1708.27 ^b	116.00
Oléico	803.35 ^b	1073.08 ^{ab}	959.63 ^{ab}	1748.76 ^a	870.34 ^b	78.33
Linoléico	27.25 ^a	34.69 ^a	29.91 ^a	32.61 ^a	.	2.82
Araquidónico	25.51 ^a	43.51 ^a	45.83 ^a	52.92 ^a	.	12.10

abc Medias con distinta literal dentro de la misma fila son diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

* Error estándar de la media

Anexo 11. Ácidos grasos en pierna de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Mirístico	34.74 ^{ab}	43.96 ^a	37.79 ^{ab}	23.68 ^b	45.78 ^a	1.88
Palmítico	223.01 ^{bc}	354.53 ^b	291.87 ^{bc}	208.84 ^c	500.05 ^a	12.16
Esteárico	1610.95 ^{bc}	2008.24 ^b	1573.93 ^{bc}	1173.41 ^c	3029.40 ^a	58.14
Oléico	898.74 ^{bc}	1318.23 ^{ab}	987.52 ^{bc}	709.36 ^c	1873.73 ^a	57.95
Linoléico	24.10 ^a	32.03 ^a	29.03 ^a	25.09 ^a	34.96 ^a	1.40
Araquidónico	29.74 ^a	4.04 ^a	31.38 ^a	31.33 ^a	.	5.62

^{abc} Medias con distinta literal dentro de la misma fila son diferentes (Tukey, α=0.05)

* Error estándar de la media

Anexo 12. Ácidos grasos en costilla de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Mirístico	34.74 ^{ab}	43.96 ^a	37.79 ^{ab}	23.68 ^b	45.78 ^a	1.88
Palmítico	223.01 ^{bc}	354.53 ^b	291.87 ^{bc}	208.84 ^c	500.05 ^a	12.16
Esteárico	1610.95 ^{bc}	2008.24 ^b	1573.93 ^{bc}	1173.41 ^c	3029.40 ^a	58.14
Oléico	898.74 ^{bc}	1318.23 ^{ab}	987.52 ^{bc}	709.36 ^c	1873.73 ^a	57.95
Linoléico	24.10 ^a	32.03 ^a	29.03 ^a	25.09 ^a	34.96 ^a	1.40
Araquidónico	29.74 ^a	43.04 ^a	31.38 ^a	31.33 ^a	.	5.62

^{abc} Medias con distinta literal dentro de la misma fila son diferentes (Tukey, α=0.05)

* Error estándar de la media

Anexo 13. Ácidos grasos en espaldilla de cordero, alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Ácido graso	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	mg (100g) ⁻¹					
Mirístico	35.73 ^b	41.10 ^b	120.08 ^a	50.71 ^{ab}	56.79 ^{ab}	9.59
Palmítico	268.71 ^a	486.17 ^a	410.66 ^a	431.25 ^a	341.3 ^a	38.62
Estearico	1949.25 ^a	2686.58 ^a	2537.06 ^a	2153.55 ^a	3717.99 ^a	279.34
Oléico	956.75 ^a	1534.79 ^a	1566.54 ^a	1557.39 ^a	1750.98 ^a	120.42
Linoléico	31.12 ^a	35.64 ^a	31.37 ^a	44.83 ^a	20.22 ^a	4.60
Araquidónico	37.02 ^a	36.00 ^a	39.12 ^a	35.20 ^a	19.88 ^a	9.79

^{abc} Medias con distinta literal dentro de la misma fila son diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

* Error estándar de la media

Anexo 14. Concentración de ácido Oléico en tejidos de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Tejido	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)				
	0	40	200	500	1000
	mg (100g) ⁻¹				
Corazón	352.4 ^a	481.1 ^a	583.2 ^a	829.5 ^a	423.9 ^a
Costilla	898.7 ^a	1318.2 ^a	987.5 ^a	709.3 ^a	1573.1 ^a
Espaldilla	956.7 ^a	1534.7 ^a	1566.5 ^a	1557.3 ^a	1750.9 ^a
Hígado	194.1 ^a	358.6 ^a	504.8 ^a	245.6 ^a	169.6 ^a
Filete	803.3 ^a	1073.1 ^a	959.6 ^a	1748.7 ^a	870.3 ^a
Pierna	898.7 ^a	1318.2 ^a	987.5 ^a	709.3 ^a	1871.7 ^a
Riñón	218.7 ^a	289.1 ^a	346.1 ^a	307.2 ^a	314.6 ^a

^a Medias con la misma literal dentro de hilera o columna no son diferentes ($P<0.05$)

* Error estándar de la media = 232.60

Anexo 15. Concentración de ácido Linoléico en tejidos de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Tejido	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)				
	0	40	200	500	1000
	mg (100g) ⁻¹				
Corazón	18.4 ^a	23.9 ^a	18.9 ^a	26.2 ^a	18.1 ^a
Costilla	24.1 ^a	32.1 ^a	29.9 ^a	25.1 ^a	34.9 ^a
Espaldilla	31.1 ^a	35.6 ^a	31.3 ^a	44.8 ^a	20.22 ^a
Hígado	10.5 ^a	121.1 ^a	17.6 ^a	28.8 ^a	19.6 ^a
Filete	27.2 ^a	34.6 ^a	29.9 ^a	32.6 ^a	32.9 ^a
Pierna	24.1 ^a	32.1 ^a	29.1 ^a	25.1 ^a	34.9 ^a
Riñón	269.4 ^a	46.4 ^a	30.9 ^a	13.8 ^a	8.4 ^a

^a Medias con la misma literal dentro de hilera o columna no son diferentes (P<0.05)

* Error estándar de la media = 51.02

Anexo 16. Concentración de ácido Araquidónico en tejidos de corderos alimentados con diferentes niveles de manganeso en la dieta.

Tejido	Manganeso (mg kg ⁻¹ MS)				
	0	40	200	500	1000
	mg (100g) ⁻¹				
Corazón	229.5 ^a	77.1 ^a	119.1 ^a	218.7 ^a	38.8 ^a
Costilla	29.7 ^a	43.1 ^a	31.3 ^a	31.3 ^a	.
Espaldilla	37.1 ^a	36.0 ^a	39.1 ^a	35.2 ^a	19.8 ^a
Hígado	174.7 ^a	296.5 ^a	270.8 ^a	95.1 ^a	102.3 ^a
Filete	25.5 ^a	43.5 ^a	45.8 ^a	52.9 ^a	.
Pierna	29.7 ^a	43.1 ^a	31.3 ^a	31.3 ^a	.
Riñón	154.7 ^a	89.4 ^a	83.9 ^a	311.4 ^a	32.8 ^a

^a Medias con la misma literal dentro de hilera o columna no son diferentes (P<0.05)

* Error estándar de la media = 51.83