Universidad Publica de Navarra

ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS

REFECTO DE LA DIETA EN LA COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS
GRASOS EN MUESTRAS DE CORDEROS DE RAZA NAVARRA DE
TIPO TERNASCO

presentado por

ITZIAR SOLAUN FERNÁNDEZ
.....(e)k

aurkeztua

INGENIERO AGRONOMO NEKAZARITZA INGENIARITZA

Febrero, 2010 / 2010, Otsaila



#### 1. **RESUMEN**

Actualmente, hay una disminución del consumo de la carne de cordero, por su alto contenido en ácidos grasos saturados, debido a la preocupación social por la salud, y a las recomendaciones por la Organización Mundial de la Salud que aconsejan un menor consumo de grasas saturadas. Estas grasas suponen un mayor riesgo de obesidad, cáncer y enfermedades cardiovasculares. Ante esta problemática social, se plantean estrategias alimentarias en los rumiantes, por las cuales se pretende modificar la composición en ácidos grasos de la carne.

El presente trabajo consiste en estudiar el efecto de la dieta sobre la composición en ácidos grasos en los depósitos subcutáneo e intramuscular *longissimus dorsi* (LD). Han sido elegidos dichos depósitos por su importancia en las características organolépticas de la carne. El estudio ha sido realizado sobre 35 corderos macho provenientes de la explotación experimental de ovino de carne "El Serrón" del ITGG en Valtierra. Tras su destete, a los 45 días como mínimo tras el parto, se distribuyeron en 3 lotes (L0, L5 y L10) de 12 animales cada uno, excepto el tercer lote, el cual fue constituido por 11 animales. Los tres lotes recibieron pienso, agua y paja *ad limitum*. El lote L0, lote control, recibió un pienso comercial (no contenía lino), el lote 5 recibió un pienso experimental que contenía un 5 % de lino extrusionado y el lote 10 que contenía un 10 % de lino. Los corderos fueron sacrificados al alcanzar un peso vivo aproximado de 26 Kg.

Para la cuantificación de los ácidos grasos en los depósitos se ha utilizado el método empleado por Whittington *et al* (1986) para la extracción, al que se aplican las modificaciones de Aldai *et al* (2005). Por último, se realizó un análisis estadístico mediante el análisis de varianza utilizando el paquete informático SPSS (versión 17). Donde se ha observado que, aunque el efecto dieta sí realiza modificaciones sobre la composición de los ácidos grasos, esta diferencia no destacó en el porcentaje de los ácidos grasos deseados como el ácido eicosapentanoico (EPA) y los isómeros llamados ácido linoleico conjugado (CLA). El diferente desarrollo y crecimiento de los depósitos junto con la biohidrogenación ruminal y con una competencia o inactividad de las enzimas presentes en la formación de dichos ácidos pueden ser los motivos de los datos observados.



# **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer, en primer lugar, a la Dra. Victoria Sarriés, mi tutora en este trabajo fin de carrera, que con su ayuda, y apoyo, ha hecho posible la realización del mismo.

Agradecer a la Dra. Kizkitza Insausti por sus conocimientos, sugerencias y tiempo a lo largo de este último tramo del trabajo.

Quisiera dar las gracias a mis compañeros y amigos de la universidad, con los que tantos momentos he vivido, las alegrías y desilusiones de estos años de carrera son un recuerdo inolvidable. A Sara por esa compresión mutua.

A mi cuadrilla por su aguante. A pesar de lo poco que nos hemos visto siempre han estado ahí.

Un agradecimiento especial a mi familia, mis padres y mis hermanos, que durante todos estos años de carrera han sido un constante apoyo, por creer y confiar en mí. Gracias a "matxu", un pilar fundamental, por aguantarme y soportarme.

A Roberto, Leire, Sandra e Izaskun sin cuyo cariño incondicional no sé lo que habría hecho.

Grazie anche a te, draku, per la tua pazienza durante questi tre mesi. Vedrai che ci sarà un ricompensa, un lungo viaggio.



# LISTA DE ABREVIACIONES

FAO : Food and Agriculture Organitation of the United Nations

OMS : Organización Mundial de la Salud

IUPAC : International Union of Pure Applied Chemistry

BOE : Boletín Oficial del Estado

MARM : Ministerio de Medio Ambiente y medio Rural y Marino

MAPA : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

ITGG : Instituto Técnico y de Gestión Ganadero

UPNA : Universidad Pública de Navarra

ANOVA : Análisis de la varianza

SC : Subcutáneo

IM : Intramuscular

LD : Longissimus dorsi

AG : Ácidos grasos

AGS : Ácidos grasos saturados

AGPI : Ácidos grasos poliinsaturados

MUFA : Ácidos grasos monoinsaturados

ALA : Acido linolénico

LA : Acido linoleico

CLA : Ácidos grasos conjugados

EPA : Ácido eicosapentanoico

DHA : Ácido docohexanoico

% : Porcentaje

MT : Mega Toneladas

Kg. : Kilogramos

g : Gramos

mm : Milímetros

μl : Microlitro

mg : Miligramo

ml : Mililitro

s : Segundos

min : Minuto

° C : Grados Celsius



# TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 : REVISIÓN BIBIOGRÁFICA	3
1. EL TEJIDO ADIPOSO	3
1.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES	3
2. LÍPIDOS	5
2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	5
2.2. DEPOSICIÓN DE LOS TRIGLICÉRIDOS	5
2.3. LIPÓLISIS DE LOS TRIGLICÉRIDOS	6
3. ÁCIDOS GRASOS	7
3.1. DEFINICIÓN Y FUNCIONES	7
3.2. NOMENCLATURA	7
3.3. ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES	9
3.4. ÁCIDOS GRASOS CLA	
4. EL METABOLISMO DE LAS GRASAS EN LOS RUMIANTES	11
4.1. METABOLISMO DEL RUMEN	11
4.2. BIOSÍNTESIS DE LOS ÁCIDOS GRASOS	12
4.2.1. Fuente de hidrógeno	13
4.2.2. Fuente de carbono	13
4.2.3. Formación del malonil-Coa	14
4.3. METABOLISMO DE LOS CLA	14
5. QUE FACTORES AFECTAN A LOS ÁCIDOS GRASOS	15
5.1. EDAD Y PESO DE SACRIFICIO	15
5.2. SEXO	16
5.3. RAZA	16
5.4. DIETA	17
5.5. LA LOCALIZACIÓN ANATÓMICA	18
5.6. ESPECIE	19
6. EFECTOS DE LOS ACIDOS GRASOS EN LA SALUD HUMANA	20
6.1. EFECTOS BENEFICIOSOS DE LOS ÁCIDOS GRASOS SOBRE LA SALUD HUMANA	421
6.1.1. EL RATIO n-6/n-3	21
6.2. EFECTOS PERJUDICIALES DE LOS ACIDOS GRASOS EN LA SALUD HUMANA	22
6.2.1. ACIDOS GRASOS TRANS	22
7. EL GANADO OVINO	23
7.1 CENSO DE CANADO OVINO	22



7.2. CONSUMO DE CARNE DE OVINO	24
7.3. RAZAS AUTÓCTONAS DE OVINO	24
7.3.1. CORDERO RAZA NAVARRA	25
8. MODIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE MEDIAN	NTE
ESTRATEGIAS ALIMENTARIAS	28
8.1. UTILIZACIÓN DEL LINO (Linum Usitatissimun L.) EN LOS CONCENTRADOS	28
8.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	28
8.1.2. USOS DEL LINO Y DISTRIBUCIÓN EN EL MUNDO	29
8.1.3. EFECTOS BENEFICIOSOS DEL LINO EN LA SALUD	30
CAPÍTULO 2 : OBJETIVOS	32
CAPÍTULO 3 : MATERIAL Y MÉTODOS	33
1. MATERIAL	33
1.1. MATERIAL ANIMAL	33
2. SACRIFICIO	36
3. TOMA DE MUESTRAS	36
4. ANÁLISIS	37
4.1. EXTRACCIÓN	37
4.2. METILACIÓN	39
4.3. CROMATÓGRAFO DE GASES	40
4.4. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS	40
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	41
CAPÍTULO 4 : RESULTADOS	42
1. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS DE LA CARNE DE CORDEROS	42
1.1. DEPÓSITO INTRAMUSCULAR	42
1.2. DEPÓSITO SUBCUTÁNEO	44
2. EFECTO DE LA DIETA	47
2.1. DEPÓSITO INTRAMUSCULAR	49
2.2. DEPÓSITO SUBCUTÁNEO	50
3. EFECTO DEPÓSITO	52
CAPÍTULO 5 : DISCUSIÓN	57
1. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS	57
1.1. DEPÓSITO IMTRAMUSCULAR	57
1.2. DEPÓSITO SUBCUTÁNEO	58
2. EFECTO DIETA	59
2.1 SOBRE EL DEPÓSITO INTRAMUSCULAR	59



2.2. SOBRE EL DEPÓSITO SUBCUTÁNEO	61
3. EFECTO DEL DEPÓSITO SOBRE LA COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS	62
CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFIA	67
ANEXO	76



# **TABLAS**

Tabla 1 : Recomendaciones alimentarias de la OMS/FAO	20
Tabla 2 : Censo ganadero por Comunidades Autónomas en los años 2006, 2007 y 2008	23
Tabla 3 : Clasificación taxonómica del Linum Usitatissimum L	28
Tabla 4 : Composición en materias primas de los piensos estudiados (% de materia fresca).	34
Tabla 5 : Composición química de los piensos estudiados (% de materia fresca)	34
Tabla 6 : Composición similar a la de las tres dietas en ácidos grasos (%)	34
Tabla 7 : Composición analítica del producto Valomega 160® (% de Kg bruto).	35
Tabla 8 : Los Pesos de Canal Fría de los distintos lotes	36
Tabla 9 : Sumatorios y relaciones de los ácidos grasos	43
Tabla 10 : Contenido total de ácidos grasos en el depósito intramuscular.	45
Tabla 11 : Contenido total de ácidos grasos en el depósito subcutáneo.	46
Tabla 12 : Niveles de significación estadísticos del efecto de la dieta	48
Tabla 13 : Efecto de la dieta en la composición en ácidos grasos de la grasa intramuscular.	50
Tabla 14 : Efecto de la dieta en la composición en ácidos grasos de la grasa subcutánea.	52
Tabla 15 : Niveles de significación estadísticos del efecto del depósito	53
Tabla 16 : Medias y error típico para cada depósito y para cada dieta	56



# ILUSTRACIONES

llustración 1 : Lipogénesis y lipólisis	6	
Ilustración 2 : Nomenclatura del ácido linoleico		
Ilustración 3 : Configuraciones Cis y Trans	8	
Ilustración 4 : Lipólisis y biohidrogenación en el rumen	12	
Ilustración 5 : Ovejas y corderos de raza Navarra	25	
Ilustración 6 : Área de expansión de la Raza Navarra	26	
Ilustración 7 : Indicación Geográfica del "Cordero de Navarra"	27	
llustración 8 : La planta de lino	36	
Ilustración 9 : La semilla del lino.	36	
llustración 10 : Imagen de la costilla	37	



# INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una gran sensibilización en la sociedad por la influencia de la alimentación sobre la salud en países desarrollados. Asimismo, la Organización Mundial de la Salud en su informe del 2003 recomienda un menor consumo de las llamadas grasas saturadas, ya que conllevan a un mayor riesgo de obesidad, cáncer y enfermedades cardiovasculares. Esta dinámica social provoca que uno de los sectores agroalimentarios más afectados sea la producción cárnica.

Por este motivo, en particular para el ganado ovino, se han llevado a cabo varias investigaciones sobre la calidad de la canal y de la carne del cordero con objeto de apoyar y potenciar el sector ovino nacional.

La carne de cordero posee un alto contenido en ácidos grasos saturados y también, en menor cantidad, ácidos grasos poliinsaturados. Estos últimos juegan un papel importante en el desarrollo del cerebro y la retina y previenen de enfermedades como la inmonudeficiencia, la carcinogénesis, la ateroclerosis, la hipertensión, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares (OMS, 2003; Bhattacharya *et al*, 2006). Por lo tanto es fundamental potenciar estos ácidos grasos saludables, como la serie n-3 (los llamados omega 3), y el grupo de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico (los ácidos grasos CLA) en la carne.

Se han ideado distintas estrategias alimentarias en las que gracias al efecto que tiene la dieta se han incorporados estos ácidos grasos en la carne del cordero, y así conseguir un equilibrio entre lo que demanda el consumidor y la calidad, la terneza, y la jugosidad que son caracterizados por la grasa. Uno de los compuestos más utilizados en las dietas recientemente con el objeto de enriquecer el tejido graso en ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3, es el lino, un alimento rico en el ácido graso linolénico.

Con el presente proyecto se pretende estudiar el efecto que tiene la dieta en la composición de los ácidos grasos en los depósitos intramuscular y subcutáneo, por su importancia en las características organolépticas en la carne, en muestras de cordero de raza Navarra de tipo ternasco alimentados con lino. En concreto, se pretende incrementar el



contenido de los ácidos grasos de la serie n-3, como el linolénico (ALA) y el eicosapentanoico (EPA), y los ácidos grasos CLA.

Los corderos procedentes de la raza Navarra "Cordero de Navarra", que son comercializados como carne fresca, están protegidos por la Indicación Geográfica Protegida (IGP). Esta Indicaciones Geográficas Protegidas y las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) constituyen el sistema utilizado en nuestro país para el reconocimiento de una calidad diferenciada, consecuencia de características propias, debidas al medio geográfico en el que se producen las materias primas, se elaboran los productos, y a la influencia del factor humano que participa en las mismas (MRM; 2010).

Además, este proyecto forma parte de un proyecto de investigación financiado por el Gobierno de Navarra cuyo título es "Enriquecimiento en ácidos grasos saludables de la carne de Raza Navarra mediante la utilización de fuentes alimenticias".



# CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBIOGRÁFICA

## 1. EL TEJIDO ADIPOSO

## 1.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

El tejido adiposo blanco se puede considerar como una variante del tejido conjuntivo altamente especializada en el almacenamiento de energía.

Sin embargo a pesar de que es la principal función, no es la única que desempeña. A su vez posee un papel importante como aislante térmico, protector mecánico (Murphy, 2001) y como órgano endocrino, autocrino e intracrino (Trayhurn & Beattie, 2001).

En el tejido adiposo la función de reserva energética es llevada a cabo por los lípidos, entre otras funciones. Los lípidos están compuestos por una gran variedad de compuestos cuya clasificación incluye triglicéridos o grasas, fosfolípidos, esteroides y prostaglandinas (Burkitt *et al*, 1993).

Las células responsables del almacenamiento y metabolismo de los triglicéridos se les denomina adipocitos (Burkitt *et al*, 1993). El aumento de tamaño de los adipocitos, proceso al que se le llama hipertrofia, junto con el incremento en el número de adipocitos, al que se denomina hiperplasia, conllevan al aumento de la cantidad de tejido adiposo en el cuerpo del animal (Ailhaud *et al*, 1992)

Los triglicéridos están compuestos por tres moléculas de ácidos grasos y una molécula de glicerina. Los ácidos grasos proporcionan el componente hidrocarbonado de los lípidos, y tiene un número par de átomos de carbono pudiendo ser saturados o insaturados (Lehninger, 2009).

El glicerol fosfato se origina a partir del metabolismo de la glucosa en la vía glucolítica mientras que los ácidos grasos se sintetizan en el adipocito o provienen de la hidrolización del triglicérido (lipólisis) (Wakil *et al*, 1983; Hirata *et al*, 1999). En este último proceso los ácidos grasos provienen de las lipoproteínas (lipoproteína de baja densidad (VLDL) y quilomicrones) gracias a la enzima lipoproteín lipasa (LPL).



El tejido adiposo en rumiantes es el principal responsable de la síntesis de ácidos grasos (Ingle *et al*, 1972), mientras que en el ser humano es el hígado (Shrago *et al*, 1969).

La biosíntesis de ácidos grasos *de novo* se produce en el citosol de los adipocitos utilizando como precursor el acetyl-CoA. Las principales enzimas que intervienen son la acetil-Coa carboxilasa (ACC), que cataliza la síntesis del malonil-CoA, y la sintasa de ácidos grasos (FAS) mediante cuya acción se realiza la síntesis de los ácidos grasos a partir de la acetil-CoA y de la malonil-CoA (Wakil *et al*, 1983) (ver apartado 4.2 : BIOSÍNTESIS DE LOS ÁCIDOS GRASOS).

Aunque, no todos los ácidos grasos pueden ser sintetizados por el organismo, como los ácidos grasos linoleico (C18:2 *cis*-9, *cis*-12) y linolénico (C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*15) que deben ser incorporados en la dieta, son los llamados ácidos grasos esenciales.

La deposición de la grasa, es decir, la acumulación de triglicéridos en los adipocitos se da lugar en diferentes depósitos anatómicos. Se pueden clasificar como depósito subcutáneo, intermuscular, intramuscular, cavitario (que comprende pélvico y renal) y por último el visceral (compuesto por el pericárdico, el omental y el mesentérico) (Díaz, 2001).

En el ganado ovino la grasa acumulada en los depósitos es más saturada en los depósitos internos que en el subcutáneo e intramuscular (Ziegler *et al*, 1967). A su vez, estos dos últimos depósitos son los que más influyen sobre la calidad de la carne.

La grasa subcutánea (SC) se deposita inmediatamente debajo de la piel, sobre la superficie del músculo (Vázquez-Vela *et al*, 2008) mientras que la grasa intramuscular (IM, marmoteado o veteado) es depositada entre las fibras musculares dentro de un mismo músculo.

Tanto la calidad como la composición de los depósitos en el ganado ovino pueden variar en función de factores biológicos y productivos como la especie, la raza, el sexo, la alimentación, la edad y peso de sacrificio, la localización anatómica y el entorno medioambiental (Arana *et al*, 1994; Nürnberg *et al*, 1998; Vergara *et al*, 1999; Mendizábal *et al*, 2002).



# 2. LÍPIDOS

## 2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los lípidos son biomoléculas orgánicas y constituyen un grupo químicamente diverso de compuestos cuya característica común y definitoria es su insolubilidad en agua. Las funciones de los mismos son a su vez muy diversas; entre ellas se pueden citar almacenamiento, estructural de las membranas biológicas, como señales, cofactores y pigmentos (Lehninger, 2009).

Los lípidos se pueden clasificar en dos grupos, lípidos saponificables como los glicéridos y fosfolípidos, que contienen ácidos grasos y en no saponificables, principalmente esteroides que no contienen ácidos grasos (IUPAC, 2009).

Los triglicéridos también denominados triacilgliceroles o grasas neutras son ésteres de tres ácidos grasos y un glicerol (Thibodeau & Patton, 1995). Los extremos carboxílicos (-COOH) de tres ácidos grasos se esterifican con cada uno de los grupos hidroxilo (-OH) del glicerol.

Gracias a la estructura de los triglicéridos (hidrocarbonada) tiene mayor facilidad de oxidación expresado por átomo de carbono con respecto a los carbohidratos y a las proteínas que hace que la energía acumulada por el tejido adiposo sea muy superior a la de cual otro tejido (Soriger, 1994).

# 2.2. DEPOSICIÓN DE LOS TRIGLICÉRIDOS

El principal papel del tejido blanco es de almacén de triglicéridos y de liberación de los mismos cuando el organismo lo requiera (Vázquez-Vela *et al*, 2008). Las grasas o aceites son las formas principales de almacenamiento energético y estos se acumulan en las células adiposas en forma de gotitas de grasa que ocupan casi la totalidad de la célula.



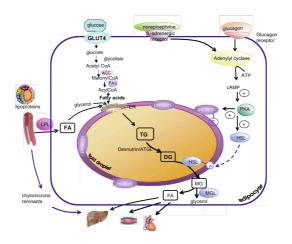


Ilustración 1: Lipogénesis y lipólisis (fuente: Vázquez-Vela et al, 2008).

Los lípidos son transportados como lipoproteínas (quilomicrones) y ácidos grasos libres (AGL) (Thibodeau & Patton, 1995). Los ácidos grasos que formarán los triglicéridos provienen de la hidrólisis de triglicéridos o son sintetizados en el adipocito. La enzima lipasa de lipoproteínas regula el ingreso de los ácidos grasos libres, procedentes de los triglicéridos contenidos en las lipoproteínas circulantes, al interior de los adipocitos (González *et al*, 2002) como se puede observar en la Ilustración 1.

Los ácidos grasos sintetizados proceden del catabolismo de la glucosa, el exceso de glucosa es oxidado vía glicólisis a acil-CoA en el adipocito, donde después será esterificado en el retículo endoplasmático (ER) a triglicéridos (TG). Estos son entonces transportados a la gota lipídica. Por otra parte, el glicerol requerido para la síntesis de triglicéridos procede de la hidrólisis de triacilgliceroles en el tejido adiposo, proviene del hígado y del riñón o procede de la dihidroxiacetona, su precursor normal (Lehninger, 2009).

## 2.3. LIPÓLISIS DE LOS TRIGLICÉRIDOS

Bajo condiciones de ayuno se activa la lipólisis. La perilipina localizada en la membrana de la gota lipídica se regula por los estímulos lipídicos que cursan a través de los receptores E-adrenérgicos/Adenosín monofosfato cíclico (AMPc), así es diana de la proteína quinasa A (PKA) facilitando el ataque lipídico. Está también estimula la activación de la actividad de HSL en la superficie de la gota lipídica facilitando su translocación desde el citosol a la gota de grasa e induce con gran especificidad la hidrólisis de los diacilgliceridos producidos.



En la lipólisis de los triglicéridos en la gota lipídica de los adipocitos actúa la lipasa de triglicéridos desnutrina (ATGL) junto con la lipasa hormona-sensible (HSL) para formar diglicéridos (DG) y posteriormente monoglicéridos (MG). Los MG son entonces hidrolizados por la monoglicérido lipasa.

Este proceso metabólico se da durante estados de necesidad energética liberando las reservas en forma de ácidos grasos libres y glicerol que se liberan a la sangre para ser transportados a otros tejidos (Murphy, 2001; Vázquez-Vela *et al*, 2009).

# 3. ÁCIDOS GRASOS

# 3.1. DEFINICIÓN Y FUNCIONES

Los ácidos grasos son ácidos alifáticos monocarboxílicos, es decir, compuestos orgánicos de cadena lineal variable que contienen un grupo carboxilo (—COOH). En algunos casos puede ser ramificada. La cadena hidrocarbonada que puede ser de 4 a 36 carbonos será saturada (AGS, sin dobles enlaces y con el número máximo de hidrógeno (H) posible), monoinsaturada (AGM, un doble enlace) o insaturada (AGPI, dos o más dobles enlaces) (Chow & Lobb, 2008; IUPAC, 2009).

Los ácidos grasos forman triglicéridos, fosfolípidos y esfingolípidos (moléculas que forman parte de la bicapa lipídica de la membrana) y son precursores de las prostaglandinas por lo que son esenciales para funciones de almacén de energía, de estructura y de regulación respectivamente.

## 3.2. NOMENCLATURA

Para la nomenclatura de los ácidos grasos determinamos dos nomenclaturas. La nomenclatura estándar en la que se asigna el número 1 al carbono del grupo carboxilo (C-1) y  $\propto$  al carbono vecino (IUPAC, 2009). El prefijo n- indica la estructura sin ramificar, como por ejemplo, dodeanoico, indica 12 átomos de carbono que se podrían ramificar; sin embargo n-dodecanoico, especifica solo la forma lineal. La posición de cualquier doble o dobles enlaces se indica mediante  $\Delta$ , seguido de un exponente que indica el carbono con el número inferior en el doble enlace (Lehninger, 2009).



En el caso de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) existe una convención alternativa, que numera los carbonos asignando el número 1 al carbono metílico en el otro extremo de la cadena (Lehninger, 2009). A modo de ejemplo, el ácido linoleico un ácido graso poliinsaturado omega 6 (Ilustración 2).

**Ilustración 2 :** Nomenclatura ácido linoleico : Nombre IUPAC, ácido cis-cis-9,12-octadecadienoico; nombre abreviado respecto al grupo carboxilo, C18:2  $\Delta^{9,12}$  y nombre respecto al grupo metilo, C18:2 omega-6 ó n-6

Los doble enlaces entre los átomos de carbono pueden tener distintas configuraciones según la orientación espacial de los átomos de H enlazados a estos carbonos. Estas configuraciones se llaman *Cis* o *Trans*, de acuerdo a que los átomos de H estén del mismo lado ó de lados opuestos al plano delimitado por el doble enlace C=C (Ilustración 3).

$$R_1$$
 $C=C$ 
 $H$ 
 $H$ 
 $R_2$ 
 $Is \'omero\ C$   $Is \'omero\ Trans$ 

**Ilustración 3 :** Configuraciones *Cis* y *Trans*. Configuración *cis* si los H se encuentran en el mismo lado del plano mientras que la configuración *trans* se encuentran a la inversa.

Los dobles enlaces de casi todos los ácidos grasos naturales se encuentran en la configuración *cis*. La fuente más común de ácidos grasos *trans* son las margarinas, producidas de forma artificial mediante tratamiento térmico de hidrogenación (Lehninger, 2009). Asimismo se producen de forma natural durante la fermentación en el rumen de los animales productores de lácteos y carne.

Los enlaces sencillos permiten la rotación libre en torno al enlace, no obstante no ocurre lo mismo con los dobles enlaces, la rigidez del doble enlace hace que la cadena se doble, pudiendo llegar a estar plegada o curvada y ocupar más espacio. Esta ausencia de rotación afecta a la fluidez de las biomembranas, ya que la inserción de dobles enlaces reduce el punto de fusión e incrementa la fluidez del ácido graso (más soluble).



Por lo que debido a que los puntos de fusión están influenciados por la longitud y grado de saturación, a temperatura ambiente los ácidos grasos saturados tienen una consistencia cérea, gracias al fuerte empaquetamiento y los ácidos grasos insaturados son líquidos oleosos (Lenhinger, 2009).

A excepción de los ácidos grasos *trans* que debido a la disposición de los hidrógenos, con mayor ángulo de enlace, la cadena no se dobla y por tanto su forma y propiedades son más parecidas a las ácidos grasos saturados (OMS, 2003).

En definitiva, los ácidos grasos poliinsaturados son menos estables y más susceptibles a la autooxidación, siendo por tanto necesario la presencia de antioxidantes  $\alpha$ -tocoferol, como la vitamina E, para evitar el enranciamiento (Logani & Davies, 1980; Kasapidou *et al*, 2008), originando problemas de sabor, de color y disminuye el punto de fusión de la grasa, lo que da lugar a una grasa más blanda y a una carne menos atractiva para el consumidor.

# 3.3. ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES

Los ácidos grasos que no pueden ser metabolizados por el organismo y han de ser incorporados mediante la dieta son los llamados ácidos grasos esenciales (AGE). Los humanos y los mamíferos carecen de las enzimas como  $\Delta 12$  y  $\Delta 15$  desaturasas, por lo que son incapaces de sintetizar los ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linolénico (ALA) y el linoleico (LA); luego son esenciales (Lehninger, 2009).

Ambos ácidos grasos esenciales son precursores necesarios en la biosíntesis de los eicosanoides (prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos) que intervienen en numerosos procesos fisiológicos tales como la coagulación de la sangre o las respuestas inflamatoria e inmunológica.

Los diferentes números y posiciones de los dobles enlaces de la cadena confieren a estos dos ácidos grasos diferentes propiedades fisiológicas derivadas de su metabolismo, lo que hace que la relación entre los ácidos grasos n-3 y n-6 de la dieta sea muy importante.

El ácido graso más esencial en los mamíferos es el ácido linoleico. Es un precursor necesario en los mamíferos para la biosíntesis del ácido araquidónico, que no se encuentra en las plantas (Lehninger, 1986). El ácido araquidónico (AA, 20:4 *cis*-5, *cis*-8, *cis*-11, *cis*-14) es el principal precursor de los eicosanoides.



A pesar de ello, el ácido graso poliinsaturado más importante es el ácido linolénico (C18:3n3) (OMS, 2003) que es precursor del eicosapentanoico (EPA, C20:5 *cis*-5, *cis*-8, *cis*-11, *cis*-14, *cis*-17) y del docohexanoico (DHA, 22:6 *cis*-4, *cis*-7, *cis*-10, *cis*-13, *cis*-16, *cis*-19).

Ambos ácidos grasos, el LA y el ALA son precursores de las series n-6 y n-3 respectivamente, cuyos efectos en la salud humana son importantes a tener en cuenta (ver apartado 6.1.1 : EL RATIO n-6/n-3).

# 3.4. ÁCIDOS GRASOS CLA

En los alimentos derivados de los rumiantes aparece un tipo de ácido graso *trans* denominado ácido linoleico conjugado (CLA) (Bauman *et al*, 2000).

El acrónimo CLA se refiere a un grupo de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico, cuyos dobles enlaces están conjugados. Pueden presentarse en todas las combinaciones posicionales posibles (*cis/cis*, *cis/trans*, *trans/cis*, *trans/trans*).

Entre los CLA, el ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11) es el más abundante comprendiendo entre un 80 y un 90 % del total de los ácidos grasos conjugados, seguido por el C18:2 *trans*-7, *cis*-9 entre 3 y un 16 % del total. El C18:2 *trans*-10, *cis*-12 a pesar de su importancia se encuentra entre un 3 y 5 % (Bauman *et al*, 2000, Khanal & Dhiman, 2004).

Los CLA son intermediarios formados durante la biohidrogenación ruminal (ver apartado 4.1 : METABOLISMO DEL RUMEN) del LA (18:2 n-6), y por medio de la enzima Δ9 desaturasa se da la conversión endógena de los CLA a partir del vaccénico (18:1 *trans*-11), otro producto intermediario de la biohidrogenación en el rumen (ver apartado 4.3 : METABOLISMO DE LOS CLA).

El contenido de los CLA en la grasa proveniente de los productos derivados del animal dependerá entonces de la producción ruminal de los CLA y del C18:1 trans-11 y de la actividad en el tejido de la  $\Delta 9$  desaturasa.

La cantidad de CLA en el depósito intramuscular del cordero puede ser modificado añadiendo aceites vegetales en la dieta (Jerónimo *et al*, 2009).



# 4. EL METABOLISMO DE LAS GRASAS EN LOS RUMIANTES

## 4.1. METABOLISMO DEL RUMEN

Existen dos principales procesos que se dan en el rumen. En primer lugar se da la lipólisis que libera los ácidos grasos procedentes de los lípidos esterificados de las plantas, seguido por la biohidrogenación que reduce el número de dobles enlaces (Jenkins, 1993; Relling & Mattioli, 2002). También hay una síntesis microbiana de ácidos grasos *de novo* mediante precursores carboxílicos.

Existe un pequeña pérdida de AG desde el rumen por absorción a través del epitelio ruminal o por el catabolismo hacia ácidos grasos volátiles (AGV) y CO<sub>2</sub> (Pennington, 1952).

La lipólisis se lleva a cabo por enzimas lipasas y una variedad de galactosidasas y fosfolipasas (Alzón *et al*, 2003).

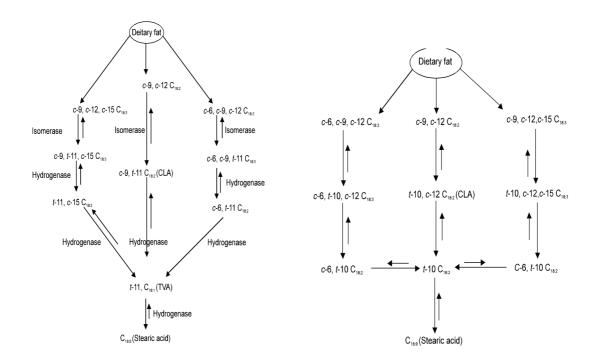
En la biohidrogenación los AGPI son rápidamente hidrogenados por microorganismos dando AGS (Ilustración 4). Así pues, el principal paso es la isomerización, que convierte *cis*-12 del C18:2 *cis*-9, *cis*-12 en un isómero *trans*-11, siendo necesario que el grupo carboxílo este libre, para lo que previamente es necesario la lipólisis (Alzón *et al*, 2003). Bacterias como *Butyrivibrio fibrisolvens* lo llevan a cabo, aunque no participan en la saturación.

Una vez que el *trans*-11 ha sido formado mediante la acción de la isomerasa, a través de la reductasa se forma el C18:1 *trans*-11. Por último, ocurre la hidrogenación del C18:2 por la reductasa bacteriana dando el ácido esteárico (C18:0) (Kepler *et al*, 1966).

Similar a la biohidrogenación del linoleico es la biohidrogenación del linolénico, que comienza con la isomerización *cis-*9, *trans-*11, *cis-*15, seguida por una secuencia de reducciones que finaliza con la formación del esteárico.

Se debe señalar que la biohidrogenación en el rumen de los lípidos de la dieta es responsable de los altos contenidos de AGS en la grasa animal, siendo este aspecto indeseable para la salud humana.





**Ilustración 4 :** Lipólisis y biohidrogenación en el rumen. En ambas fotos se observa la biohidrogenación del linolénico y del linoleico. En la primera imagen, se ve que el C18:2 *cis* -9, *trans* -11 es formado a parte solo del linoleico mientras que el vaccénico de ambos linoleico y linolénico. En la segunda figura, el C18:2 *trans*-10, *cis*-12 es formado sólo a partir del linoleico.

La síntesis de ácidos grasos depende de la cantidad de ácidos grasos consumidos. Aumentando la ingesta de AGPI en la dieta parece disminuir la síntesis en el rumen.

La mayoría de ácidos grasos que llegan al duodeno son no esterificados donde se da principalmente la absorción. Las enzimas LPL del plasma cumplen la función de transportarlos.

Para que un mayor número de AGPI llegue al duodeno es necesario proteger los lípidos de la biohidrogenación (Jenkins, 1993).

Hay que tener en cuenta que añadir una gran cantidad de lípidos a la dieta puede afectar a la fermentación en el rumen, reducir la digestibilidad y cambios en los productos finales (Jenkins, 1993).

#### 4.2. BIOSÍNTESIS DE LOS ÁCIDOS GRASOS

La síntesis *de novo* de los AG se efectúa a partir del acetil-Coa en el citoplasma celular en los adipocitos y en los hepatocitos.



A modo de ejemplo, el ácido graso palmítico (C16:0), puesto que en la mayoría de organismos es el producto final, siendo éste el precursor del resto de ácidos grasos saturados y de los no saturados (Lehninger, 1981).

De las ocho unidades de acetilo para formar el ácido palmítico, solo una es aportada por el acetil-CoA (precursor o iniciador) y las otras 7 a partir de malonil-CoA. El poder reductor viene proporcionado por el NADPH (Martin *et al*, 1961).

Los productos intermedios del proceso de alargamiento de la cadena son tioésteres de una proteína conjugada, proteína portadora de acilos (ACP), que puede formar un complejo con las siete proteínas enzimáticas necesarias para la síntesis completa del palmítico.

Las seis enzimas que catalizan las seis etapas sucesivas para la formación del AGS son del sistema de la ácido graso sintasa (FAS). La séptima proteína no posee actividad catalítica, si no que es la proteína portadora de acilo, la cual está unida al AG en crecimiento.

El palmitato es el precursor de otros AG de cadena larga. Los ácidos palmítico y esteárico son precursores de los AGM, los más corrientes, son los ácidos palmitoleico (C16:1 cis-9) y el oleico (C18:1 cis-9). En el tejido adiposo el doble enlace  $\Delta$ 9 es introducido por una monooxigenasa (Lehninger, 1981).

Son además precursores de los AGPI, excepto de los AGE, como el ácido eicosatrienoico (C20:3 *cis-*5, *cis-*8, *cis-*11) y del ácido nervónico (C24:1 *cis-*15) por medio de enzimas elongasas y desaturasas.

## 4.2.1. Fuente de hidrógeno

Los átomos de hidrógeno necesarios para la síntesis de ácidos grasos *de novo* son aportados en forma de NAPDH + H. Aunque la NADP-isocitrato deshidrogenasa, juega un papel importante en el tejido adiposo de los rumiantes (Ingle *et al*, 1972).

## 4.2.2. Fuente de carbono

En rumiantes no adultos el carbohidrato más importantes proporcionado por la dieta es la glucosa. En rumiantes adultos los carbohidratos ingeridos procedentes del forraje



como de los alimentos concentrados sufren fermentaciones en el rumen, produciendo AGV de cadena corta como el acético, el propiónico y el butírico. La absorción directa de glucosa es pequeña.

Por lo que, el precursor más importante de los ácidos grasos *de novo* parece ser el acetato, como se ha observado en ovino (Ingle *et al.*, 1972).

#### 4.2.3. Formación del malonil-Coa

A través de la acción de la acetil-Coa carboxilasa (ACC), complejo enzimático que cataliza la síntesis del malonil-CoA a partir del acetil-CoA (Wakil *et al*, 1983).

La enzima ACC es activada por el citrato o el isocitrato, lo que convierte la presencia de citrato en necesaria para la síntesis de AG.

#### 4.3. METABOLISMO DE LOS CLA

Los ácidos grasos conjugados que se encuentran en la leche y en la carne de los rumiantes proceden de dos fuentes.

La primera es la formación de los CLA durante la biohidrogenación del LA.

Los CLA son intermediarios formados durante la biohidrogenación ruminal del ácido linoleico (18:2 n-6) al esteárico (18:0) gracias a las bacterias ruminales, siendo *Butyrivibrio fibrisolvens* la principal bacteria (Kepler *et al*, 1966).

Para otros AGPI, como el  $\alpha$ - ó  $\gamma$ - linolénico, tienen otros intermediarios distintos de los CLA, sin embargo el vaccénico es un intermediario común en la biohidrogenación tanto para el  $\alpha$ - como para el  $\gamma$ - linolénico como para el linoleico.

Sin embargo, la síntesis ruminal de los CLA es pequeña, no pudiendo explicar por si mismo la cantidad de CLA presente en la leche y en la carne de los rumiantes (Khanal & Dhiman, 2004).

Por lo tanto, la segunda fuente es la síntesis de los CLA en los tejidos del animal formados a partir del C18:1 *trans*-11, otro intermediario de la biohidrogenación de los AGPI.



Esta conversión endógena del vaccénico al ácido ruménico se da por medio de la enzima Δ9 desaturasa (Khanal & Dhiman, 2004). Aunque parece que la expresión de la proteína Δ9 desaturasa no juega un papel clave en la formación de los ácidos grasos en el depósito intramuscular (Vasta *et al*, 2009). Estos autores sugieren que las enzimas que realmente juegan un papel importante en la deposición de la grasa son las que forman los ácidos grasos saturados, como la acetil-CoA carboxilasa o la ácido graso sintasa.

Sin embargo, si que afecta la cantidad de ácido ruménico exógeno. Puesto que aumentando la cantidad ingerida de ruménico, se reduce la síntesis de ruménico endógeno, sintetizado (Palmquist *et al*, 2004).

Por consiguiente, la singularidad de los CLA en los productos alimentarios procedentes de los rumiantes están relacionados con la biohidrogenación incompleta de los AGPI en el rumen.

# 5. QUE FACTORES AFECTAN A LOS ÁCIDOS GRASOS

#### 5.1. EDAD Y PESO DE SACRIFICIO

La cantidad de tejido adiposo aumenta con la edad. La acumulación de AGS en el tejido adiposo aumenta no solo con la edad sino también con el desarrollo del animal.

Los corderos recién nacidos muestran una deficiencia bioquímica clásica de ácidos grasos esenciales (Palmquist *et al*, 1977) y los corderos lechales, con un peso inferior a 8 Kg. presentan un contenido en AGS alto, debido a su alimentación a base de leche y a un rumen parcialmente funcional.

Además, apenas presentan ácidos grasos de cadena impar de átomos de carbono, mientras que la proporción de dichos ácidos se incrementa cuando comienza la actividad del rumen tras el destete (Sauvant *et al*, 1979).

Tras el destete y con el aumento de peso el contenido de AGS disminuye para los depósitos subcutáneo e intramuscular (Beriain *et al*, 2000) y el contenido en AGPI incrementa en el depósito subcutáneo y desciende en el intramuscular. La grasa de los depósitos pericárdico y del perirrenal presentan particularmente ácido esteárico, y la grasa subcutánea se enriquece en ácidos grasos de cadena carbonada ramificada y número impar de átomos de carbono (Sauvant *et al*, 1979).



Por tanto, está demostrado que en los rumiantes los ácidos grasos insaturados parecen aumentar con la edad y con la adiposidad. A pesar de que la hidrogenación aumenta con la edad, y también la acumulación de AGS. En conclusión, se encuentran diferencias de resultados en base a las distintas dietas proporcionadas al animal.

#### **5.2. SEXO**

Las diferencias de la grasa debidas al sexo entre los machos y los castrados, se vuelven más evidentes con el aumento del peso y de la edad (Crouse *et al*, 1981).

Las hembras tienen una ganancia media diaria menor que los machos y un mayor desarrollo del tejido adiposo, aunque las diferencias de género son sobre todo a la cantidad de grasa depositada (Nürnberg, 1998). La proporción de la grasa es menor en machos que en castrados y hembras.

Al comparar canales de machos y hembras, de distinta raza y con diferentes pesos se observó que las hembras depositan más cantidad de grasa, sobre todo en el depósito pelvicorrenal (Arana *et al*, 1994), asociado a mayor volumen de los adipocitos.

Referente a la composición de AG en los depósitos, las ovejas tienen en el depósito subcutáneo un porcentaje mayor de oleico y de AGPI que los castrados. Mientras que los machos en el depósito subcutáneo poseen un mayor porcentaje de palmitoleico y AGPI, y un contenido menor en esteárico que el castrado (Kemp *et al*, 1980).

Respecto al depósito intramuscular los machos contienen un mayor porcentaje de palmitoleico, linoleico y linolénico que los castrados.

#### **5.3. RAZA**

La raza influye sobre el perfil de AG en la carne de los corderos, como se puede advertir en el caso del estudio de Costa *et al* (2009). Se observó que la raza mestiza, cruce entre la raza Dorper y Santa Inés, aunque si la raza no afectaba en los niveles del colesterol en la carne, sí influenciaba en la composición de AGS, siendo está inferior y poseía un mayor contenido en AGM y en 18:1, haciendo de esta en comparación con las otras razas la que tuviera las mejores características en cuanto a un perfil nutricional deseable.

También Horcada *et al* (1994) estudiaron el efecto de las razas Latxa y Rasa Aragonesa sobre el perfil de AG en los depósitos subcutáneo e intramuscular. Se pudo



observar que la raza determinaba la composición de AG dependiendo de su localización en el cuerpo del animal. La grasa subcutánea de los ternascos de la raza Rasa Aragonesa presentaron un mayor contenido de AGPI que los ternascos de la raza Latxa, gracias a un incremento del oleico, mientras que en el depósito intramuscular la relación AGPI/AGS no tenía diferencias significativas entre las razas.

Finalmente, para una misma raza de ovejas se ha estudiado si en la misma línea de parentesco existen componentes hereditarios, como las largas cadenas de AG. Se ha experimentado para la raza Merino (Ponnampalam *et al*, 2009). Se vio que para el cruce Merino puro el ratio de AGPI/AGS y la cantidad de AGPI en el músculo es más alta, con respecto a los de primer cruce; y estos con respecto a los del segundo cruce.

#### **5.4. DIETA**

Los derivados animales, como la carne, tienen el potencial de incrementar el consumo, mediante la dieta, de AGPI de la serie n-3 en humanos (Howe *et al*, 2005), puesto que la carne es la más consumida a pesar de que alimentos como el pescado sean principales fuentes de AGPI de la serie n-3.

En no rumiantes los tejidos están más preparados que aquellos de los rumiantes para que gracias a la grasa incorporada en la dieta se modifique su composición de AG (Nürnberg *et al*, 1998).

La carne de los rumiantes puede ser enriquecida en las granjas con suplementos a base de aceites vegetales (ricos en AGPI). Modificando, de esta manera, la composición de ácidos grasos en la carne del cordero (Nürnberg *et al*, 1998 ; Jerónimo *et al*, 2009). El mayor ácido graso insaturado de la serie n-3 en los aceites vegetales es el ácido linolénico.

Es importante prevenir la biohidrogenación de los AGPI, por lo que es necesario proteger las semillas incorporadas en la dieta. Se ha comprobado que suministrar aceite de lino protegido fue efectivo en el incremento de los AGPI de la serie n-3 contenidos en el músculo del cordero (Kitessa, 2009).

Otras estrategias son posibles, como añadir taninos a la dieta. Cuya acción consiste en inhibir la actividad ruminal de los microorganismos, y por tanto la biohidrogenación, como resultado se da un mayor contenido en AGPI y un bajo contenido en C18:0 (Vasta *et al*, 2009).



Los corderos que han crecido alimentándose en el pasto tienen un mayor valor para la salud humana, ya que tienen un ratio n-6/n-3 más bajo (Vasta *et al*, 2009). Una alimentación basada en el forraje, donde se recuerda que el ácido linolénico es mayoritario, incrementa el contenido de la serie n-3 de AG comparados con animales criados en el interior de la granja o con concentrados (Nürnberg *et al*, 1998 ; Kasapidou *et al*, 2008).

Un incremento de la serie n-3 puede incrementar el enranciamiento de la carne. Por lo que una adecuada relación entre los AGPI y la consistencia del tejido adiposo es importante para producir carne de gran calidad (Nürnberg *et al*, 1998).

No todas las dietas suministradas a los corderos a base de aceites provenientes de plantas afectan por igual, el aceite de palma no produce ningún efecto significativo en la composición de AG en el depósito intramuscular y subcutáneo mientras el aceite de girasol disminuye la cantidad de C16:0, y además en el SC un aumento del C18:2 *trans*-10, *cis*-12. Ambos tipos de dietas sin afectar al crecimiento, la ganancia media diaria y a las características de la canal o de la carne (Manso *et al*, 2009).

Aunque se ha visto que los ácidos grasos mayoritarios contando con el tipo de dieta o no, son el oleico (C18:1 *cis-*9), seguido por el palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) (Manso *et al*, 2009 ; Vasta *et al*, 2009).

Hay que tener en cuenta que los efectos que tengan los ácidos grasos incorporados en la dieta de los rumiantes dependen no solo del tipo de AG sino también de la cantidad añadida.

#### 5.5. LA LOCALIZACIÓN ANATÓMICA

La grasa almacenada en los depósitos internos es más saturada que en los depósitos subcutáneo e intramuscular (Ziegler *et al*, 1967). Los depósitos grasos que mas influyen en la calidad de la carne son, el depósito subcutáneo y el intramuscular.

La importancia de la presencia de grasa en el depósito intramuscular está asociada con la aceptabilidad de la misma desde el momento en que la grasa participa en el aroma y en la jugosidad de la carne. Además, el nivel de deposición de la grasa en el depósito IM es altamente heredable.



De acuerdo a Costa *et al* (2009) la deposición de grasa en la canal de la oveja ocurre principalmente en el depósito subcutáneo. Aunque, Mendizábal *et al* (2002) señaló el importante desarrollo que sufría el depósito pelvicorrenal en ovejas de razas rústicas, como es el caso de la Rasa Aragonesa.

Si comparamos las ovejas con las cabras en cuanto a cantidad de grasa que contienen se advierte que en el depósito pelvicorrenal las ovejas presentaron mayor cantidad de grasa que las cabras, y estás en el depósito omental (Mendizábal *et al*, 2002).

Pero si comparamos la variación relativa de cada depósito graso (proporcional al peso medio de cada depósito) tiene lugar en el depósito subcutáneo, siendo el que más grasa almacena o moviliza.

Con el aumento de peso se produce un descenso del ácido graso mirístico y palmítico en el depósito subcutáneo y del mirístico en el depósito intramuscular. Mientras que los AGPI aumentan en el SC y descienden en el IM. En el depósito SC, hay además un incremento progresivo del linoleico (Beriain *et al*, 2000) y del heptadecanoico (C17:0).

#### 5.6. ESPECIE

La carne roja es uno de los alimentos más consumidos, por lo que se debe conocer la composición y distribución de AG en las distintas especies.

Las cabras de raza Blanca Celtibérica tienen un mayor contenido en grasa corporal que las ovejas de raza Rasa Aragonesa, siendo también la distribución de dicha grasa distinta en cada una de las especies y la acumulación / movilización de grasa de las cabras de raza Blanca Celtibérica es superior a la de las ovejas de raza Rasa Aragonesa. (Mendizábal *et al*, 2002).

Respecto a otras especies, por ejemplo los corderos presentan mayor proporción de tejido adiposo que la vaca y el cerdo. Dentro de la composición de ácidos grasos en el tejido adiposo, la concentración de oleico y palmítico (los ácidos grasos más abundantes), son similares entre las tres especies. Sin embargo, el esteárico es el doble en el cordero que en la vaca y el cerdo (Enser *et al*, 1996).

El cerdo destaca por su alto contenido en linoleico, un contenido diez veces mayor que el tejido adiposo del cordero, y también mayor contenido en linolénico, casi el 40%



(Enser *et al*, 1996). En el porcino el ácido linoleico pasa a través del estómago, es absorbido en el intestino, para llegar sin cambios a los tejidos. A diferencia de los rumiantes que se degrada en el rumen.

A su vez, el cerdo tiene cantidades mesurables de los ácidos grasos C20 y C22 AGPI (Enser *et al*, 1996).

En cuanto a la proporción de músculo decrece según el orden vaca>cerdo>cordero (Enser *et al*, 1996). Los corderos además son los que presentan mayor contenido del depósito intramuscular.

# 6. EFECTOS DE LOS ACIDOS GRASOS EN LA SALUD HUMANA

Existe una epidemia de enfermedades que han surgido como consecuencia al cambio de hábitos alimentarios en los países en desarrollo. Por este motivo, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003), recomienda una dieta equilibrada y un modo de vida saludable.

Se parte de que todo ser vivo necesita nutrientes que aporten la energía (calorías) para el funcionamiento del organismo humano como las grasas y aceites que son una fuente concentrada de energía (ver apartado 2.1 : DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS). Además de que sirven de vehículo para la ingesta y absorción de vitaminas liposolubles (o solubles en grasas), como las vitaminas A, D, E y K e incorporan los AGE.

Por ello, la OMS (2003) aconseja unos porcentajes de AG en función de la energía total que se ha de consumir (Tabla 1)

**Tabla 1 :** Recomendaciones alimentarias de la OMS/FAO para el consumo de AG en función de la energía total que se sugiere consumir.

ÁCIDOS GRASOS TOTALES	15%-30% <sup>A</sup>	
Ácidos grasos saturados	< 10%	
Ácidos grasos poliinsaturados	6%-10%	
Ácidos grasos poliinsaturados n-6	5%-8%	
Ácidos grasos poliinsaturados n-3	1%-2%	
Ácidos grasos trans	< 1%	
Ácidos grasos monoinsaturados	Por diferencia <sup>B</sup>	
A % de la energía total; B Por diferencia : Se calcula como sigue: grasas totales -		
(ácidos grasos saturados + ácidos grasos poliinsaturados + ácidos grasos trans).		



# 6.1. EFECTOS BENEFICIOSOS DE LOS ÁCIDOS GRASOS SOBRE LA SALUD HUMANA

Es conveniente comer alimentos que contengan principalmente ácidos grasos insaturados, tienden a reducir la acumulación de triglicéridos y a aumentar los niveles de la lipoproteína de alta densidad (HDL, colesterol "bueno") en plasma ayudando a reducir el riesgo de enfermedades cardiacas. Los AGPI son algo más eficaces que los monoinsaturados a ese respecto (OMS, 2003).

Los efectos de los AGPI afectan a lípidos y lipoproteínas, la tensión arterial, la función cardíaca, la función endotelial, la reactividad vascular y efectos antiinflamatorios y antiplaquetarios.

Los AGPI n-3 más importantes son, además del linolénico, el ácido eicosapentaenoico y el ácido docosahexaenoico. El DHA es importante para las funciones de formación, desarrollo y funcionamiento del cerebro y la retina, siendo predominante en las membranas celulares de los órganos (Horrocks & Yeo, 1999) y el EPA previene los problemas coronarios (Yokoyama *et al*, 2007).

Entre los CLA, hay un papel inverso entre el C18:2 *cis*-9, *trans*-11 y el 18:2 *trans*-10, *cis*-12. Mientras el ruménico reduce el colesterol del plasma y el colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL), el *trans*-10 *cis*-12 tiene el efecto contrario (Tricon *et al*, 2004).

En general, los efectos beneficiosos de los ácidos grasos conjugados en la salud se relacionan fuertemente a dominios tan variados como carcinogénesis, la inmunodeficiencia, la aterosclerosis y la diabetes (Bhattacharya *et al*, 2006).

## 6.1.1. EL RATIO n-6/n-3

Los ácidos grasos de las familias n-6 y n-3 compiten por las mismas enzimas de elongación y desaturación. Su relación a nivel nutricional es de gran importancia.

Un elevado ratio de LA/ALA provoca un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, obesidad, enfermedades autoinmunes, asma y depresión (Simopoulos, 2002).



En concreto, una dominancia del AA originará inflamación favoreciendo el aumento de enfermedades cardíacas coronarias, cáncer, degeneración de los huesos entre otras enfermedades. Por ello, se cree que aumentando la ingesta de AGPI n-3 y CLA se equilibrará el balance de biosíntesis de eicosanoides disminuyendo la concentración de AA en las membranas células y ayudando a prevenir enfermedades asociadas al aumento de la serie n-6 (Simopoulos, 2002).

Por lo que debería haber un equilibrio óptimo entre la ingestión de AGPI n-6 y n-3, que deberían representar el 5 % - 8 % y el 1 % - 2 % de la ingesta energética diaria, respectivamente (OMS, 2003).

El ratio n-6/n-3 recomendable es no superior a 4 (Scollan *et al*, 2001).

# 6.2. EFECTOS PERJUDICIALES DE LOS ACIDOS GRASOS EN LA SALUD HUMANA

El exceso de peso, la obesidad central, la hipertensión, las dislipidemias, la diabetes y la baja forma cardiorrespiratoria son factores que favorecen las enfermedades cardiovasculares a causa especialmente al consumo elevado de grasas saturadas (OMS, 2003).

Los ácidos grasos saturados elevan el colesterol total y el de las lipoproteínas de baja densidad (LDL, colesterol "malo"). Entre los que más efecto tienen se encuentran los ácidos mirístico y palmítico, sin embargo no se ha demostrado que el esteárico influya.

En cuanto a la relación AGPI/AGS se aconseja que sea alrededor de, o mayor que, 0,45 (Scollan *et al*, 2001).

#### 6.2.1. ACIDOS GRASOS TRANS

Los ácidos grasos *trans* (ver apartado 3.2 : NOMENCLATURA) se comportan como ácidos grasos saturados, aunque hacen que la composición de los lípidos en el plasma sea más aterogénica que los saturados. No sólo aumentan el colesterol LDL sino que reducen el LDL (Judd *et al*, 1994 ; OMS, 2003).

También afectan al metabolismo de los AGPI al inhibir la actividad de las enzimas delta 5 y delta 6. Por lo tanto, los ácidos grasos *trans* incrementan el riesgo enfermedad cardíaca coronaria.



Sin embargo, hay que tener en cuenta que son también precursores de ácidos grasos conjugados, a nombrar el vaccénico para el ruménico.

# 7. EL GANADO OVINO

#### 7.1. CENSO DE GANADO OVINO

El consumo de carne a nivel Europeo está disminuyendo debido a su elevado contenido en AGS, desaconjables para la salud humana según indican los informes de la Organización Mundial de la Salud. En España como en el resto de Europa también está sufriendo las repercusiones.

Los datos de la Tabla 2 reflejan que Castilla y León, Extremadura, Castilla la Mancha, Andalucía y Aragón son el 80,45 % del censo nacional de ganado ovino es España. Se observa una disminución generalizada del número de animales en todas las Comunidades Autónomas (CCAA), destacando Andalucía con un descenso del 26,33 %.

**Tabla 2 :** Censo ganadero por Comunidades Autónomas en los años 2006, 2007 y 2008 (fuente MARM; Subdirección General de Estadística)

GANADO OVINO POR COMUNIDAD AUTÓNOMA	TOTAL ANIMALES DICIEMBRE 2008	TOTAL ANIMALES DICIEMBRE 2007	TOTAL ANIMALES DICIEMBRE 2006
Galicia	265.152	276.302	325.920
Asturias	58.726	56.764	58.823
Cantabria	115.450	100.605	69.507
País Vasco	333.090	344.588	354.484
Navarra	705.332	744.104	786-298
La Rioja	136.821	134.512	165.991
Aragón	2.270.716	2.591.497	2.829.000
Cataluña	748.844	811.588	865.877
Baleares	400.139	395.964	318.796
Castilla y León	4.145.751	4.398.450	318.796
Madrid	103.317	103.373	96.423
Castilla la Mancha	3.115.583	3.546.939	3.426.618
Valencia	406.414	432.287	467.208
Murcia	533.808	643.333	678.447
Extremadura	4.107.161	4.214.114	4.473.774
Andalucía	2.412.623	3.274.931	3.101.955
Canarias	93.355	124.906	110.944
ESPAÑA	19.952.282	22.194.257	22.451.627



Hay que destacar que el ganado ovino español es uno de los más relevantes dentro de la Unión Europea (UE) gracias a su volumen censal, siendo un 20,4 % del total de la UE en el año 2007, solo superado por Reino Unido.

Con respecto al resto del mundo, en el año 2005 China, Australia y Nueva Zelanda fueron los tres primeros países en producción de carne de oveja, con unas producciones de 1.801.037, 682.231 y 543.327 MT (mega toneladas) respectivamente. España se encontraba en el octavo lugar con 234. 991 MT.

#### 7.2. CONSUMO DE CARNE DE OVINO

Respecto al consumo, la cantidad comprada per capita de carne de ovino en los hogares españoles disminuyó en el año 2008, encontrándose el mayor repunte de consumo en los años 2001-2002 (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, MARM, 2008).

A excepción del mes de diciembre (y en mucha menor medida los meses de abril y mayo) que destacan como meses donde el consumo está por encima de la media respecto a otros meses del año, gracias al consumo de "cordero pascua".

El consumo de carne de ovino, aunque se duplica en diciembre, es constante durante casi todo el año; agosto destaca por debajo de la media y marzo-mayo, por encima, en el año 2008. Mensualmente, hay carne de ovino en 1 de cada 5 hogares españoles, con un consumo por persona y mes de unos 200 gr.

El consumo per. cápita (número de Kg. por persona y año) en el año 2008 fue de 2,5 Kg. A la cabeza del consumo ovino entre las CCAAs se encuentran Aragón, la Rioja, las dos Castillas y Navarra.

El consumidor español prefiere animales jóvenes con pesos ligeros que han sido alimentados a base de leche o concentrados. Estos tienen una carne de color rosado, un sabor suave y contienen menor cantidad de grasa.

#### 7.3. RAZAS AUTÓCTONAS DE OVINO

Las razas existentes de ganado ovino en España actualmente son en cuanto a razas autóctonas de fomento: Castellana, Churra, Latxa, Carranza, Manchega, Merina, Navarra, Rasa Aragonesa, Segureña y Ojinegra de Teruel (BOE, 2006).



#### 7.3.1. CORDERO RAZA NAVARRA

# 7.3.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La raza Navarra es de reciente reconocimiento oficial, noviembre de 1997. Debe su nombre a la Comunidad Autónoma de Navarra, donde mayormente se explota. Se enmarca dentro del grupo de "Entrefinos del Pirineo".

Según la reglamentación específica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1999) del ganado ovino español, de aptitud cárnica, de raza Navarra, la morfología de dicha raza a rasgos generales es la siguiente : el aspecto general; animales mesomorfos y de tamaño variable, con perfil subconvexo, de caracterización sexual definida como se observa en la Ilustración 5.

Son animales de tamaño variable que oscila para la oveja adulta entre 47 y 67 Kg., y para los machos entre 80 y 110 Kg., dependiendo de las zonas en las que viven y del manejo. Tienen un tronco, cilíndrico y compacto y extremidades de longitud media, tirando a cortas. Las zonas sin lana están cubiertas de pelo corto, fino y color blanco amarillento. El color del vellón es de color blanco dejando libres la cabeza y las extremidades, siendo las fibras de tipo entrefino.

La cabeza de tamaño medio, presenta perfil fronto-nasal subconvexo, más pronunciada la convexidad en los machos. A veces presentan cuernos, aunque la selección tiende a eliminarlos.

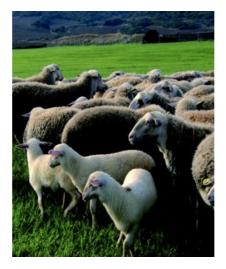


Ilustración 5: Ovejas y corderos de raza Navarra.



# 7.3.1.2. DISTRIBUCIÓN

Su distribución (Ilustración 6) se limita a Navarra, principalmente en su parte occidental media y sur de la provincia, en correspondencia con la zona no ocupada por la raza Latxa. Con pequeños grupos de animales en las provincias limítrofes (Huesca, Zaragoza y La Rioja) (MARM, 2010).

El censo es de 420.000 cabezas en Navarra.



Ilustración 6 : Área de expansión de la Raza Navarra.

# 7.3.1.3. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS

Los ovinos de la raza Navarra se distribuyen en explotaciones familiares, constituyendo una parte muy significativa en el campo económico-social de la zona, de un tamaño próximo a las 500 cabezas (entre 300 y 800). En este sentido, la situación de las explotaciones consiste en, aprovechamiento de pastos comunales denominados "corralizas", arrendamiento de pastos y aprovechamiento de pastos rojos (MRM, 2010).

Diferencias en el manejo por zonas, el sistema de explotación del Pirineo es de un parto al año (extensivo), generalmente en mayo, y los corderos permanecen en el pasto con sus madres hasta el destete (60-70 días) para posteriormente ser cebados durante un mes con paja y pienso comercial *ad libitum*. Mientras que el manejo de las explotaciones de la Ribera y Zona Media se basa en tres partos en dos años (intensivo), estando los corderos con sus madres durante la lactancia de 40 a 45 días en aprisco y 15-18 Kg. de peso vivo, para después ser cebados con paja y pienso comercial *ad libitum* (Eguinoa *et al*, 2004).



Históricamente se han obtenido producciones de carne, lana y en leche. En este sentido, la lana entrefina de esta raza era muy apreciada y su leche fue la que dio origen al queso de Roncal, primera Denominación de Origen de quesos de España.

Actualmente se explota para la obtención de carne, puesto que produce una buena producción en un ambiente difícil gracias a que se adaptan con facilidad a extremas condiciones ambientales. El tipo "ternasco" es el más comercial.

Hay que distinguir los distintos tipos de canales según el siguiente criterio establecido por el Boletín oficial del Estado (BOE, 1975), que son el lechal, el ternasco, el pascual y el ovino mayor.

Lechal, canales procedentes de animales alimentados a base de leche. Es el animal más tierno y pequeño. Su edad no debe ser superior a un mes y medio, y su peso será hasta de 8 Kg.

Ternasco, canales que proviene de animales con una edad inferior a cuatro meses aproximados y un peso inferior a 13 kilos. Si supera los 13 Kg. se denominará "ternasco precoz" o "cordero precoz".

Pascual, las canales procedentes de animales de más de cuatro meses de edad, pero menor de un año. Nace en las proximidades de la Pascua de Navidad (de ahí su nombre).

Ovino mayor, canales procedentes de animales de más de un año de edad.

La Indicación Geográfica del "Cordero de Navarra" o "Nafarroako Arkumea" (Ilustración 7) protege a los corderos procedentes de las razas Navarra y Lacha en pureza, comercializados como carne fresca. Se distinguen dos categorías diferentes, el cordero Lechal y el cordero Ternasco. La zona de producción de corderos abarca toda la superficie de Navarra, ocupando la raza Lacha la mitad norte y la raza Navarra toda la superficie de Navarra excepto la zona Nor-occidental.



Ilustración 7: Indicación Geográfica del "Cordero de Navarra" (fuente MRM, 2010).



# 8. MODIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS EN LA CARNE MEDIANTE ESTRATEGIAS ALIMENTARIAS

La carne que procede de animales alimentados a base de pasto presentan mayores niveles de n-3 AGPI que aquellos alimentados a base de concentrados.

En España los corderos son alimentados con una dieta que apenas contiene o no incluye hierba, y que son sacrificados antes de cumplir los 4 meses. Por ello se buscan estrategias para enriquecer la composición de n-3 AGPI en la carne a base de alimentos ricos en estos AG. Considerando además, que el cordero se caracteriza por su alto contenido en AGS y por uno bajo en PUFA (OMS, 2003).

Por ello, hay que variar la composición de AG de la carne mediante el efecto que tiene la dieta. Un alimento que es muy utilizado es la planta del lino.

La semilla del lino es demasiado dura para la alimentación y debe ser aplastada o ablandada poniéndola a remojo o hervida. Todo ello, porque es rica en un aceite que puede ser utilizado como un alimento concentrado de energía para rumiantes y cerdos (FAO, 2009).

El lino tiene un alto contenido en linolénico. Cuyo porcentaje aumenta tanto en la fracción de fosfolípidos como en la de lípidos neutros, aumentando su contenido en la grasa subcutánea y en el contenido total de AGPI en el músculo del cordero (Kitessa *et al*, 2009).

# 8.1. UTILIZACIÓN DEL LINO (*Linum Usitatissimun* L.) EN LOS CONCENTRADOS

### 8.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

**Tabla 3 :** Clasificación taxonómica del *Linum Usitatissimum L.* (Diederichsen & Richards, 2003)

Reino	Plantae
División	Pteridophyta
Sub-división	Angiospermae
Class	Dicotyledoneae
Sub-class	Rosidae
Orden	Geraniales
Familia	Linaceae
Género	Linum L.



La familia de las Lináceas (Tabla 3) son cerca de 300 especies de las cuales, entre ellas, el *Linum usitatissimun* es de gran importancia en la agricultura.

El lino es un cultivo anual que crece en latitudes templadas septentrionales, donde los veranos moderadamente húmedos dan un buen rendimiento de cosecha. El cultivo de 0,3-1 m de altura tiene un tallo recto, delgado y nervudo. Es una planta de raíz fibrosa, con sépalos 6-9 mm lanceolados, una cápsula de 6-9 mm, pétalos de color azul, rosa o blanco (Ilustración 8), flores individuales y alargadas y semillas de 4,5-5,5 mm de longitud, oblongo-ovoides, constreñidas cerca del ápice (Aizpuru, 2003).



Ilustración 8: La planta de lino



**Ilustración 9 :** La semilla del lino. De gran importancia debido a sus efectos beneficiosos en la salud

### 8.1.2. USOS DEL LINO Y DISTRIBUCIÓN EN EL MUNDO

El interés comercial del cultivo del lino se debe a su tallo y a sus semillas (Ilustración 9). Del tallo de la planta se obtiene la fibra para la producción textil y minerales para la alimentación animal. Por otro lado la semilla se utiliza para fines de alimentación animal, medicinales y como combustible. El aceite también es utilizado en pinturas, linóleo y jabón suave (FAO, 2009).

Los principales productores del lino textil son China, Francia y Rusia con 290.458, 95.000 y 47.490 MT respectivamente. Otros productores a destacar son Reino Unido y Bélgica con 17.500 y 13.000 MT. España en el séptimo lugar posee una producción de 12.500 MT (FAOSTAT, 2009).

El total de hectáreas dedicadas al cultivo del lino para la fibra textil son cerca de 120.000 hectáreas en Europa, y 320.000 ha por todo el mundo (FAO, 2009).



Así mismo, los principales productores de la semilla de lino en el mundo son Canadá, China y la India con una producción de 633.500, 480.000 y 167.900 MT respectivamente. España se encuentra en el decimoséptimo lugar con una producción 7.300 MT (FAOSTAT, 2009).

### 8.1.3. EFECTOS BENEFICIOSOS DEL LINO EN LA SALUD

La simiente contiene nutrientes como ALA, lignanos y fibra con efectos beneficiosos para la salud y para la prevención de enfermedades.

La semilla del lino es una de las fuentes principales de ALA cuyos efectos, ya comentados, son beneficiosos en procesos inflamatorios tales como la artritis reumatoide, la enfermedad de Crohn, el asma, la psoriasis y algunas nefropatías (Vaisey Genser & Morris, 2003; Jiménez *et al*, 2005)

El contenido en ácidos grasos de la semilla de lino es : AGS 9 %, MUFA 18 % y 73 % PUFA. El ALA es un 57 % del total de ácidos grasos (Vaisey Genser & Morris, 2003).

En cuanto a los lignanos, son fitoestrógenos, antioxidantes (Vaisey Genser & Morris, 2003). Un alto contenido de lignanos se traduce en una baja incidencia de canceres de mama, colon y próstata (McCann *et al*, 2004). Además es también importante por su participación en la síntesis de hormonas de la reproducción, y por lo tanto mejora la fertilidad.

Por último, la fibra dietética contenida en las semillas. Existe una proporción de fibra soluble respecto a la insoluble entre 20 : 80 y 40 : 60. La fibra soluble absorbe el agua del tractor gastrointestinal lo que aumenta la masa fecal mientras que la fibra insoluble aumenta el tiempo de tránsito de la hez fecal, en otras palabras, actúa como laxante (Vaisey Genser & Morris, 2003).

Su contenido en proteína digestible es de un 30 % y su parte externa, la epidermis, está compuesta por células que contienen mucílago. El poder emoliente del mucílago junto con el aumento de volumen gracias a la fibra favorece el tracto intestinal protegiendo las paredes contra las materias celulósicas demasiado duras.

Como la organización mundial de la salud recomienda la ingestión de alimentos ricos en ácido linolénico, es necesario como ya se ha comentado, modificar la composición



de ácidos grasos en los derivados de los animales mediante la dieta, incrementando aquellos más deseables para la salud humana.

Por lo que hay que proteger con la fuente alimenticia los ácidos grasos incorporados en la dieta mediantes diversas estrategias, como las proteínas encapsuladas y tratadas con formaldehído (Kitessa *et al*, 2009).

La forma en que se proporciona el lino en nuestro estudio es mediante el producto Valomega® 160 (Valorex, Francia). El lino ha sufrido un proceso de termo-extrusionado, este proceso multiplica por tres la digestibilidad del alimento (Valorex, 2009) mejorando la eficiencia del metabolismo del los ácidos grasos en el rumen y en el intestino.

Sumándole que es una de las mejores formas de tratamiento que mejor conserva y a la vez potencia los atributos del lino.



# CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

En el presente trabajo fin de carrera se engloban los siguientes objetivos :

- 1. Caracterizar el perfil de ácidos grasos en los depósitos intramuscular (*longissimus dorsi*) y subcutáneo en muestras de carne de cordero de raza Navarra de tipo ternasco. Los corderos fueron alimentados con tres dietas distintas; que consistían en un lote control (sin lino) y dos lotes con proporciones diferentes de lino (lino 5 % y lino 10 %).
- 2. Estudiar el efecto que tiene la dieta sobre la composición en ácidos grasos en los depósitos.
- 3. Comparar los ácidos grasos de ambos depósitos.

El interés global del trabajo es modificar la composición en ácidos grasos presentes en la carne del cordero para garantizar una proporción adecuada de los mismos en base a las recomendaciones dadas por las organizaciones referentes a la salud humana.



## CAPÍTULO 3: MATERIAL Y MÉTODOS

### 1. MATERIAL

#### 1.1. MATERIAL ANIMAL

Para la realización de este estudio se utilizaron un total de 36 corderos de Raza Navarra, todos ellos machos, procedentes de la explotación experimental de ovino de carne "El Serrón" del ITGG de Valtierra (Navarra).

Los corderos nacieron en un espacio de tiempo transcurrido entre el 28 de Enero y el 24 de Febrero del 2008. El 9 de Abril se produjo el destete, y se dividieron en tres lotes. Dichos lotes recibieron pienso comercial de la explotación y paja *ad libitum*. Al cabo de una semana se reorganizaron los nuevos lotes de 12 animales cada uno, en base al peso alcanzado, que serían los definitivos; siendo para el lote control, (L0, sin lino) 17,64 Kg. el peso vivo medio del lote, y para el lote 5 (L5, 5 % lino) 17,65 Kg. y por último, para el lote 10 (L10, 10 % lino) 17,49 Kg. respectivamente.

Se inició el mismo 9 de Abril el estudio experimental en el que cada lote recibiría un aporte diferente de lino, que consistió en:

El grupo control L0, fue alimentado con un pienso comercial compuesto por cebada, soja 44, carbonato cálcico, bicarbonato sódico, sal, micromix corderos, tastex + 638. Así como, agua y paja *ad libitum*.

Por otra parte, al grupo lino L5, se le suministró una dieta similar a la del grupo control a la que se añadió un 5 % de semilla de lino extrusionada.

Por ultimo, al grupo lino L10, se le suministro una dieta similar a la del grupo control a la que se añadió un 10 % de semilla de lino extrusionada.

A continuación se detalla la composición en materia prima de los piensos (Tabla 4), su composición química (Tabla 5) y se muestra (Tabla 6) una composición en ácidos grasos similar a la de las tres dietas de este trabajo, debido a que no se hizó un análisis para



estudiar su composición. Esta composición en ácidos grasos procede de otra expericiencia realizada en corderos de raza Navarra alimentados con tres dietas, un lote control, un lote con lino al 10 % y un lote con lino al 10 % más algas.

Tabla 4 : Composición en materias primas de los piensos estudiados (% de materia fresca).

	Lote Control	Lote 5% Lino	Lote 10% Lino
Cebada	81,17	75,87	70,51
Soja 44	15,23	13,05	10,88
Valomega 160*	0	7,48	15,01
Carbonato cálcico	1,76	1,76	1,76
Bicarbonato sódico	1,00	1,00	1,00
Sal	0,50	0,50	0,50
Micromix corderos	0,30	0,30	0,30
Tastex + 638	0,04	0,04	0,04
Tastex + 638	0,04	0,04	0,04

Valomega® 160\* : mezcla extrusionada de granos de lino (70%) y segundas de trigo (30%). Micromix corderos : micronutrientes

Taxtex + 638 : aromatizante y saborizante

**Tabla 5 :** Composición química de los piensos estudiados (% de materia fresca).

	Lote Control	Lote 5% Lino	Lote 10% Lino
Proteína bruta	14,56	14,35	14,48
Fibra bruta	4,64	4,83	5,08
Materia grasa bruta	2,11	4,50	6,32
Cenizas	5,52	5,94	6,02
Vitamina A (U.I/Kg)	9.799	9.799	9.799
Vitamina D3 (U.I/Kg)	1.960	1.960	1.960
Vitamina E (mg/Kg)	23,3	23,3	23,3

El lino extrusionado con el que fueron alimentados los lotes L5 y L10 fue aportado por el producto Valomega® 160 (Valorex, Francia). Valomega® 160 contiene un 70 % de grano de lino Tradi-Lin® más un 30 % de trigo. Las semillas de lino son seleccionadas por su alto contenido en omega 3, y gracias al proceso termo-extrusionado se favorece la digestibilidad de los nutrientes.

En la Tabla 7 se muestra la composición analítica del producto Valomega® 160.



Tabla 6 : Composición similar a la de las tres dietas en ácidos grasos (%).

	Piense	o Control	Pienso	Lino 10%	Pienso Li	no 10%+algas
	Media	Desv. típ.	Media	Desv. típ.	Media	Desv. típ.
C12:0	2,44	0,75	0,37	0,05	0,38	0,02
C14:0	1,21	0,12	0,33	0,01	5,61	0,12
C15:0	0,11	0,01	0,06	0,00	0,23	0,00
C16:0	23,95	0,42	13,22	0,15	21,30	0,05
C16:1c9	0,17	0,01	0,11	0,00	0,16	0,00
C17:0	0,12	0,00	0,09	0,01	0,09	0,00
C18:0	3,29	0,09	3,20	0,07	2,79	0,04
C18:1t11	0,09	0,01	0,07	0,01	0,10	0,00
C18:1c9	12,13	2,11	15,81	0,26	11,91	0,30
C18:1c11	1,01	0,21	1,31	0,00	1,01	0,05
C18:2n6t9t12	0,15	0,03	0,06	0,03	0,02	0,00
C18:2n6c9t12	0,21	0,02	0,08	0,01	0,07	0,00
C18:2n6t9c12	0,16	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00
C18:2n6c9c12	48,54	1,10	30,49	0,05	30,34	0,36
C18:3n6	0,05	0,00	0,17	0,01	0,17	0,00
C20:0	0,11	0,04	0,13	0,03	0,16	0,01
C18:3n3c9,c12,c15	4,44	0,29	33,50	0,13	24,20	0,17
9c11tCLA	0,24	0,04	0,25	0,04	0,08	0,02
10t12cCLA	0,07	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01
C20:1c11	0,25	0,06	0,05	0,02	0,04	0,00
9c11cCLA	0,13	0,03	0,17	0,00	0,17	0,00
9t11tCLA	0,55	0,16	0,09	0,03	0,05	0,00
C21:0	0,35	0,14	0,18	0,05	0,10	0,01
C22:0	0,07	0,01	0,10	0,00	0,51	0,02
C22:1n9c13	0,03	0,01	0,02	0,00	0,03	0,02
C20:5n3	0,08	0,03	0,04	0,02	0,36	0,03
C24:0	0,05	0,01	0,05	0,00	0,10	0,01

Tabla 7 : Composición analítica del producto Valomega 160® (% de Kg bruto).

CONSTITUYENTES ANA	ALÍTICOS
Humedad	6,80
Proteína bruta	20,43
Fibra bruta	12,07
Materia grasa bruta	28,38
Cenizas	4,76
Ac. Linolénico (n3)	15,7
Ac. Linoleico (n6)	4,70



### 2. SACRIFICIO

Una vez alcanzaron el peso vivo de 26 Kg. se sacrificaron los corderos en el matadero "La Protectora" situado en la ciudad de Pamplona. Los días 8, 15 y 22 de Mayo del 2008, se sacrificaron en cada uno de los días, un lote de 12 animales, que no tenía por qué corresponder con los lotes de estudio.

Al día siguiente del sacrificio, se obtuvo el Peso de la Canal Fría (PCF) (Tabla 8) que fue obtenida tras haber permanecido la canal 24 horas en una cámara frigorífica a una temperatura aproximada de 6°C.

Tabla 8 : Los Pesos de Canal Fría de los distintos lotes

	L0	L5	L10
PCF (Kg.)	11,4	11,6	11,5

Posteriormente, se dividieron las canales en dos mitades, y se trasladaron a la finca de prácticas de la UPNA; donde se guardaron en arcones a -20°C para su posterior utilización.

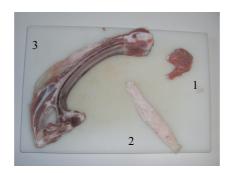
### 3. TOMA DE MUESTRAS

Se recogieron las medias canales derechas almacenadas en la finca de prácticas de la UPNA para trasladarlas y almacencarlas a -20 °C en unos arcones ubicados en el Edificio de Agrónomos de la UPNA para facilitar el manejo de las mismas. Sin descongelarlas se cortó la 6 vértebra torácica con ayuda de la sierra Ecych situada en el laboratorio 14 del edificio de los Olivos y se envasaron al vacío en bolsa de poliamida-polietino (120 μm y 1 cc/m²/24h O₂ permeabilidad, 3 cc/m²/24h CO₂ permeabilidad y 0,5 cc/m²/24h N₂ permeabilidad mesurado a 5° C y 75 % de humedad relativa (HR); la velocidad transmisión vapor de agua (WVTR) fue de 3 g/m²/24h at 38°C y 100% HR) (Ghizzoni New Co.srl A-400, Italia).

A continuación se almacenaron a –20 °C hasta el día anterior a su análisis, día en el que las costillas envasadas se dejaron descongelar durante 24 horas en una cámara frigorífica a 4 °C.



Después, se comenzó con la disección con la ayuda de un bisturí, como se puede observar en la Ilustración 10, la muestra quedaba dividida en tres piezas, la zona subcutánea, la zona intramuscular y el resto de la costilla.



**Ilustración 10 :** Imagen del músculo LD (1), de la grasa subcutánea (2) y del resto de la costilla (3) previa a su análisis.

Subsiguientemente, se comenzaba el análisis, consistente en la extracción, metilación y el análisis cromatográfico.

### 4. ANÁLISIS

### 4.1. EXTRACCIÓN

El método utilizado para la extracción de la grasa de la costilla de la parte del músculo *longissimus dorsi* (LD) y de la grasa subcutánea fue el desarrollado por Whittington *et al.* (1986) al que se aplican las modificaciones de Aldai *et al.* (2005).

En primer lugar, se procedió al picado de cada muestra a analizar de los depósitos intramuscular y subcutáneo con la picadora (Moulinex 320R, Francia). Desechando el resto de la muestra.

Consecutivamente se realizó el pesado en la balanza analítica (Mettler AE 100, Francia) de 1 g de carne y 0,5 g de grasa procedente del tejido subcutáneo, todo ello por duplicado en tubos falcón de plástico de 50 mm. Realizando de este modo una repetición de cada zona.



A continuación se añadió solo a la grasa 200 µl de tolueno y se agitó 10 min en el vibrador (Heidolph Vibramax 100, Alemania).

Se añadieron 100 µl de patrón interno (23:0 ME disuelto en n-hexano con una concentración de 10 mg/ml) y 6 ml de solución saponificable (KOH al 0.5M), después se pasó por cada tubo una corriente de aire de N2 durante 10 s y se agitaron en el vibrador Vibramax durante 10 min a velocidad máxima.

Después, se llevaron los tubos al baño María (Memmert WB 22, Alemania), que había sido previamente calentado a 60 °C .

Se mantuvieron las muestras durante 1 hora, agitando con la ayuda de la mano cada 15 min. Apareciendo tras el agitado espuma. En el caso del músculo fue necesario en la primera agitación realizarla con el vibrador (Velp Scientifica Zx3, Italia).

Mientras las muestras se encuentraban en el baño María se anoto el peso sin tapón de los tubos pirex e se identificaron con la simbología elegida.

Tras el baño María se diluyo cada muestra con 12 ml de NaCl al 0,5 % y se añadió 5 ml de éter de petróleo (EP). Tras lo cual se agitó durante 5 min.

Se añadieron 10-15 gotas de etanol absoluto (500 µl) a la capa superior. Y se centrifugó (Jouan MR 1822 centrifuge, Francia) a 800 g durante 5 min. a 20 °C (programa 30) para separar las capas. Eliminando la capa superior con ayuda de una pipeta de plástico puesto que en esta fase se encuentran los ácidos grasos no saponificables, que no se analizarán en este estudio.

Para neutralizar el KOH se añadieron 3 ml de ácido acético glacial comercial y se agitó suavemente manualmente. Se observa que se calienta el tubo y se esperan 5 min. Posteriormente se añadió 5 ml de EP y se agitó durante 10 min.

De nuevo se añaden 10-15 gotas de etanol absoluto a la capa superior. Y se centrifugó a 800 g durante 5 min. a 20 °C para separar las capas. En este caso la capa superior son los ácidos grasos saponificables que se recogieron con pipetas de plástico y se transfirieron en los tubos de cristal pirex previamente identificados.



Mientras se reduce el volumen de la muestra recogida a la mitad mediante corriente de N2 a temperatura de 40 °C en en el block heater compatible con el sample concentrator (SBH1300/3 y SBHCONC/1, Stuart, UK), se añadió 5ml de EP a los tubos falcon, se agitaron durante 5 min. De nuevo se añaden 10-15 gotas d etanol y se centrifugó a 800 g durante 5 min. a 20 °C.

La capa superior se recogió en los pyrex donde se encuentran las muestras ya reducidas y se vuelven a reducir.

Por último se añadieron 100 µl de 2,2 dimethoxypropane a cada uno de los tubos con las muestras y se agitó durante 2 min.

Se desechó el contenido de los tubos falcon y se guardaron las muestras en el congelador a -20 °C hasta el momento de la metilación.

Durante este proceso, se perdió una muestra. Por lo que la metilación se realizó a partir de 35 muestras.

### 4.2. METILACIÓN

Se sacaron las muestras guardadas anteriormente en el congelador y se esperaron unos 10min a que se atemperaran.

Mientras se redujo el volumen de las muestras mediante corriente de N2 a 40 °C, se identificaron los eppendorf. Tras la reducción se queda un residuo (extracto lipídico) en el fondo del tubo que a 40 °C es líquido y al enfriarse pastoso.

Se anotó el peso de cada uno de los tubos y se disolvió el extracto lipídico con 1 ml de una mezcla de metanol : tolueno (2 : 1), para obtener una concentración inferior a 50 mg/ml. Se agitó durante 5 min.

A continuación se añadieron 120 µl de TMS-DM a cada una de las muestras. Se agitó suavemente y se dejaron los tubos destapados durantes 10 min. a 40 °C. Se limpió la jeringa y todo el material usado con diazometano con ácido acético glacial.

Importante trabajar en campana debido a que el diazometano es cancerígeno.



Se concentraron las muestras bajo corriente de N2 a 40 °C y se añadieron 2 ml n-hexane. Tras lo cual se agitó durante 5 min.

A continuación se transfirió 1,5 ml de las muestras a los tubos eppendorf y se centrifugó a 20.000 g durante 5 min (programa 41).

Por último, se transfirieron las muestras en viales de cristal y se almacenaron a -20 °C hasta el momento del análisis cromatográfico.

### 4.3. CROMATÓGRAFO DE GASES

El perfil de ácidos grasos se analizó mediante cromatografía de gases con el equipo GC 7890 (Agilent Technologies, Estados Unidos) con splitless inlet y detector frontal (FID) (7683B; Agilent Technologies). Este equipo se maneja mediante un programa de software específico: GC Chem Station Rev. B.03.01 en la versión de 2007.

La columna utilizada por el cromatógrafo es del modelo BPX70, tiene una longitud de 120 m y un diámetro interno de 0.25 mm. El gas utilizado para transportar la muestra a lo largo de la columna es helio.

El proceso de análisis dura 46,5 minutos. Al principio del mismo, la temperatura del horno es de 50° C, a los 6,5 minutos se alcanzan los 160° C, a los 26,5 minutos los 220° C y por último la temperatura sube hasta los 240° y se mantiene así hasta el final del ciclo. Una vez que la muestra ha recorrido toda la columna, se enfría el horno hasta alcanzar de nuevo los 50° C, momento en el cual comienza el análisis de una nueva muestra.

### 4.4. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS

El perfil de ácidos grasos identificados en el depósito intramuscular fueron 44 y en el subcutáneo 43 que provienen de una mezcla de 37 ácidos grasos patrones (Supelco 47885-U) y el resto de ácidos grasos procedieron de patrones de Sigma Aldrich y de Matreya. Ver la lista de los ácidos grasos identificados en el Anexo I.



### 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El estudio estadístico de los datos se realizó mediante el análisis de la varianza utilizando el paquete informático SPSS (versión 17).

Se realizó previamente un análisis descriptivo global, donde se observaron la media y desviación típica, de todos los ácidos grasos en los depósitos intramuscular y subcutáneo.

Tras el estudio ANOVA factorial, donde se observó que para ciertos ácidos existía una influencia significativa, se realizó para los susodichos ácidos un análisis de varianza de un factor : el procedimiento ANOVA de un factor donde se estudiaron los descriptivos media y error típico de la media.

$$Y_{ij} = \mu + L_i + e_{ij}$$

Siendo:

Y<sub>ij</sub> = Parámetros medidos

μ = Media de la población considerada

L<sub>i</sub> = Efecto dieta (i = 1 lote control, i = 2 lote lino 5 %, i = 3 lote lino 10 %)

e<sub>ij</sub> = Efecto residual aleatorio

Se completó el estudio con comparaciones múltiples *post hoc*; se eligió el procedimiento de Tukey.

Por último, se comparó la composición en ácidos grasos de ambos depósitos. Para lo que se realizó un análisis de varianza factorial con el procedimiento modelo lineal general univariante.



## CAPÍTULO 4: RESULTADOS

# 1. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS DE LA CARNE DE CORDEROS DE RAZA NAVARRA

En la tabla (Tabla 9) se muestran los sumatorios de los ácidos grasos y las relaciones entre los mismos. En la Tabla 10 y la Tabla 11 se muestran la composición en ácidos grasos de los depósitos intramuscular y subcutáneo.

Se realizó un análisis descriptivo global, donde se muestran la media y la desviación típica, de todos los ácidos grasos (en porcentaje) de los depósitos IM y SC (Tabla 10 y Tabla 11, respectivamente). En estas tablas también se incluyen la media y la desviación típica de los sumatorios : AGS, AGM, AGPI, BAME, n-6, n-3, y los CLA, y de las relaciones entre estos ácidos grasos : AGPI/AGS y n-6/n-3.

### 1.1. DEPÓSITO INTRAMUSCULAR

Los ácidos grasos más abundantes en porcentaje del depósito intramuscular (Tabla 10) en los corderos de raza Navarra de tipo ternasco fueron el C18:1*cis*-9, el C16:0 y el C18:0

En cuanto a los compuestos detectados, los ácidos grasos como el C15:1, C24:0, C22:3n3 y C22:6n3 han aparecido entre 2 y 6 muestras únicamente.

El ratio n-6/n-3 que se aconseja sea inferior a 4 (Scollan *et al*, 2001) es de 8,56, con valores de n-6 y n-3 de 8,65 % y 1,24 % respectivamente respecto del total de AG.

Los CLA tienen un porcentaje del 0,29 %.

Los AGS representan en el depósito IM el 48,15 %, mientras que los AGPI y AGM son el 9,89 % y 40,43 % respectivamente.

Respecto al ratio AGPI/AGS el valor es de 0,25 cuando las recomendaciones establecen que el ratio sea mayor o igual que 0,45 (Scollan *et al*, 2001).



 Tabla 9 : Sumatorios y relaciones de los ácidos grasos.

Sumatorios	Depósito		Ácidos grasos								
relaciones entre AG											
ACC	IM	C12:0	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C20:0	C24:0		
AGS	SC	C12:0	C13:0	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C20:0		
AGM	Ambos	C14:1c9	C15:1	C16:1t9	C16:1c9	C17:1c10	C18:1t11	C18:1c9	C18:1c11		
AGM	depósitos	C20:1c11									
		C18:2n6t9 t12	C18:2n6c 9c12 (LA)	C18:3n6c 6c9c12	C20:2n6c 11,c14	C20:3n6c 8,c11,c14	C20:4n6 (AA)	C22:4n6c 7,c10,c13, c16	C18:2n3t9,t 12,c15		
AGPI	IM	C18:2n3t9 ,c12,t15	C18:2n3c 9,t12,t15	C18:3n3c 9,c12,c15 (ALA)	C20:5n3 (EPA)	C22:3n3c 13,c16,c1 9	C22:5n3c 7,c10,c13, c16,c19 (DPA	C22:6n3c 4,c7,c10,c 13,c16,c1 9 (DHA)			
Adri		C18:2n6t9 t12	C18:2n6c 9c12 (LA)	C18:3n6c 6c9c12	C20:2n6c 11,c14	C20:3n6c 8,c11,c14	C20:4n6 (AA)	C22:4n6c 7,c10,c13, c16	C18:2n3t9,t 12,c15		
	SC	C18:2n3t9 ,c12,t15	C18:2n3c 9,t12,t15	C18:3n3c 9,c12,c15 (ALA)	C20:5n3 (EPA)	C22:3n3c 13,c16,c1 9	C22:5n3c 7,c10,c13, c16,c19 (DPA)				
n6	Ambos depósitos	C18:2n6t9 t12	C18:2n6c 9c12 (LA)	C18:3n6c 6c9c12	C20:2n6c 11,c14	C20:3n6c 8,c11,c14	C20:4n6 (AA)	C22:4n6c 7,c10,c13, c16			
n3	IM	C18:2n3t9 ,t12,c15	C18:2n3t9 ,c12,t15	C18:2n3c 9,t12,t15	C18:3n3c 9,c12,c15 (ALA)	C20:5n3 (EPA)	C22:3n3c 13,c16,c1 9	C22:5n3c 7,c10,c13, c16,c19 (DPA	C22:6n3c4,c 7,c10,c13,c1 6,c19 (DHA)		
	SC	C18:2n3t9 ,t12,c15	C18:2n3t9 ,c12,t15	C18:2n3c 9,t12,t15	C18:3n3c 9,c12,c15 (ALA)	C20:5n3 (EPA)	C22:3n3c 13,c16,c1 9	C22:5n3c 7,c10,c13, c16,c19 (DPA)			
BAME	Ambos depósitos	isoC14:0	isoC15:0	anteisoC1 5:0	isoC16:0	isoC17:0	anteisoC1 7:0				
CLA	Ambos depósitos	9c11tCLA	10t12c CLA	9c11cCL A	9t11t CLA						



### 1.2. DEPÓSITO SUBCUTÁNEO

Referente al depósito subcutáneo, los ácidos grasos mayoritarios (Tabla 11) son, el C18:1c9, el C16:0 y el C18:0.

En cuanto a los compuestos detectados, los ácidos grasos como el C13:0, el C15:1 y el C22:3n3 han aparecido entre 2 y 6 muestras.

El C22:6n3 (DHA), derivado importante del linolénico, no ha sido detectado en ninguna muestra.

El ratio n-6/n-3 es de 3,89 siendo inferior a 4 tal y como se recomienda por las organizaciones humanas referentes a la salud humana, con valores de n-6 y n-3 de 4,03 y 1,23 % respectivamente.

Los CLA tienen un porcentaje del 0,28 %.

Los AGPI son un 5,26 % del total de AG, mientras que los AGM son un 40,34 % y los AGS un 52,14 %.

Referente al ratio AGP/AGS el valor es de 0,13 siendo el valor recomendado superior a 0,45.



**Tabla 10** : Contenido total de ácidos grasos (g / 100 g de ácidos grasos) en el depósito intramuscular de corderos de raza Navarra.

AG	N	MEDIA	DESV. TÍP.	AG	N	MEDIA	DESV. TÍP.
C12:0	69	0,39	0,20	C20:0	69	0,08	0,06
isoC14:0	66	0,04	0,02	C18:3n3c9,c12,c15 (ALA)	65	0,84	0,44
C14:0	69	3,89	0,92	9c11tCLA	67	0,09	0,06
isoC15:0	69	0,09	0,03	10t12cCLA	65	0,04	0,04
C14:1c9	69	0,10	0,03	C20:1c11	62	0,03	0,04
anteisoC15:0	69	0,10	0,05	9c11cCLA	65	0,10	0,03
C15:0	69	0,50	0,19	9t11tCLA	68	0,07	0,07
isoC16:0	69	0,17	0,05	Furyl	66	0,04	0,03
C15:1	3	0,06	0,01	C20:2n6c11,c14	69	0,06	0,04
C16:0	69	27,38	1,86	C20:3n6c8,c11,c14	69	0,13	0,05
C16:1t9	69	0,17	0,05	C20:4n6 (AA)	69	1,71	0,64
isoC17:0	69	0,19	0,07	C20:5n3 (EPA)	68	0,13	0,08
C16:1c9	69	1,55	0,24	C24:0	2	0,04	0,00
anteisoC17:0	69	0,56	0,15	C22:3n3c13,c16,c19	6	0,11	0,07
Phytanic	68	0,05	0,02	C22:4n6c7,c10,c13,c16	58	0,12	0,07
C17:0	69	1,42	0,44	C22:5n3c7,c10,c13,c16,c19 (DPA)	66	0,13	0,08
C17:1c10	69	0,90	0,27	C22:6n3c4,c7,c10,c13,c16,c19 (DHA)	4	0,03	0,01
C18:0	69	14,48	1,65	AGS	69	48,15	2,94
C18:1t11	69	6,00	2,37	AGM	69	40,43	2,07
C18:1c9	69	29,93	2,68	AGPI	69	9,89	2,47
C18:1c11	69	1,75	0,61	AGPI/AGS	69	0,25	0,06
C18:2n6t9t12	69	0,19	0,14	n6	69	8,65	2,34
C18:2n6c9c12	(0	( 20	1.72	2	(0	1.24	0.54
(LA)	69	6,38	1,73	n3	69	1,24	0,54
C18:2n3t9,t12,c15	68	0,06	0,03	n6/n3	69	8,56	4,94
C18:3n3t9,c12,t15	66	0,11	0,06	BAME	69	1,15	0,30
C18:3n3c9,t12,t15	69	0,03	0,01	CLA	69	0,29	0,11
C18:3n6c6c9c12	69	0,08	0,03	Total ácidos grasos (mg /	g)	38,03	10,02



**Tabla 11**: Contenido total de ácidos grasos (g / 100g ácidos grasos), el número de veces que ha sido detectado (N), la media y la desviación típica en el depósito subcutáneo de corderos de raza Navarra.

AG	N	Media	Desv. típ.	AG	N	Media	Desv. típ.
C12:0	71	0,55	0,29	C18:3n6c6c9c12	71	0,06	0,02
C13:0	2	0,03	0,01	C20:0	71	0,05	0,03
isoC14:0	69	0,05	0,02	C18:3n3c9,c12,c15 (ALA)	71	0,97	0,50
C14:0	71	5,56	1,25	9c11tCLA	71	0,11	0,07
isoC15:0	71	0,15	0,05	10t12cCLA	71	0,04	0,02
C14:1c9	71	0,11	0,04	C20:1c11	70	0,05	0,04
anteisoC15:0	71	0,26	0,06	9c11cCLA	70	0,09	0,05
C15:0	71	0,96	0,29	9t11tCLA	70	0,04	0,03
isoC16:0	71	0,32	0,08	Furyl	71	0,03	0,02
C15:1	5	0,05	0,01	C20:2n6c11,c14	71	0,03	0,02
C16:0	71	28,55	2,22	C20:3n6c8,c11,c14	69	0,03	0,02
C16:1t9	71	0,31	0,11	C20:4n6 (AA)	71	0,14	0,04
isoC17:0	71	0,25	0,09	C20:5n3 (EPA)	62	0,01	0,01
C16:1c9	71	1,42	0,29	C22:3n3c13,c16,c19	6	0,04	0,01
anteisoC17:0	71	0,86	0,26	C22:4n6c7,c10,c13,c16	45	0,02	0,02
Phytanic	71	0,04	0,02	C22:5n3c7,c10,c13,c16,c19 (DPA)	69	0,03	0,02
C17:0	71	2,28	0,77	AGS	71	52,14	3,27
C17:1c10	71	1,13	0,42	AGM	71	40,34	2,53
C18:0	71	14,18	1,91	AGPI	71	5,26	1,28
C18:1t11	71	11,35	4,47	AGPI/AGS	71	0,13	0,03
C18:1c9	71	24,49	5,25	n6	71	4,03	1,15
C18:1c11	71	1,47	3,19	n3	71	1,23	0,52
C18:2n6t9t12	71	0,41	0,32	n6/n3	71	3,89	2,08
C18:2n6c9c12 (LA)	71	3,34	1,19	BAME	71	1,90	0,45
C18:2n3t9,t12,c15	71	0,07	0,03	CLA	71	0,28	0,10
C18:3n3t9,c12,t15	71	0,12	0,08	Total ácidos grasos (mg / g)		838,82	78,67
C18:3n3c9,t12,t15	71	0,03	0,01				



### 2. EFECTO DE LA DIETA

Para estudiar la influencia de la dieta sobre los depósitos se realizó un análisis de varianza factorial con el procedimiento modelo lineal general univariante.

Los niveles de significación resultantes tras el ANOVA se muestran en la Tabla 12 donde se observa la interacción entre el factor, la dieta, y los ácidos grasos de cada depósito.

A la hora de comparar los depósitos se destaca que la dieta tiene un mayor efecto en el depósito subcutáneo que en el intramuscular.

Para el depósito intramuscular se puede apreciar que el efecto dieta afecta con mayor incidencia a los ácidos grasos C18:1 *trans*-11, C18:2 *trans*-9, *trans*-12, y C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 (p<0,001).

A su vez, también influye sobre C18:3n6 *cis*-6, *cis*-9, *cis*-12 (gamma linolénico) y el C20:2 *cis*-11, *cis*-14 (p<0,01) y sobre isoC14:0, Phytanic, C18:2 *cis*-9, *cis*-12 y C20:0 (p<0,05).

Por otro lado, para el depósito subcutáneo la dieta incide significativamente sobre isoC17:0, C16:1 *cis*-9, C18:2 *trans*-9, *trans*-12, C18:2 *cis*-9, *cis*-12, C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15, 20:4n6 (p<0,001). Y en menor medida sobre C16:0, Phytanic, C17:1 *cis*-10, C18:1 *trans*-11, C18:3 *trans*-9, *cis*-12, *trans*-15, C18:3n6 *cis*-6, *cis*-9, *cis*-12 (p<0,01) y sobre C14:1 *cis*-9, anteisoC17:0, C18:0, C20:1 *cis*-11 y C22:4n6 (p<0,05).

También, se estudió el efecto de la dieta sobre los sumatorios, y se vio que en el depósito IM el efecto dieta sólo tiene incidencia sobre los n-3 y el ratio n6/n3 (p<0,001) y los AGM (p<0,01), en tanto que en el depósito SC afecta a n-6, n-3 y al ratio n6/n3 (p<0,001), sobre los BAME (p<0,01) y por último sobre los AGS, AGPI y el ratio AGPI/AGS (p<0,05).

Dentro de la serie n-3, aunque ésta sí que tiene niveles de significación altos, para los ácidos grasos 20:5n3 y 22:6n3, cuyas cantidades son interesantes aumentar, no se han detectado o no ha habido cambios significativos.



Hay que destacar que los CLA, cuyo nivel es interesante aumentar por su papel en la salud humana, el efecto dieta no ha sido significativo para ninguno de los dos depósitos. Aunque parece que el CLA *cis*-9, *cis*-11 sí que tiene cierto nivel de significación (p<0,05) en el depósito subcutáneo que se estudiará en el siguiente apartado.

El resto de ácidos grasos no se vieron afectados por el efecto de la dieta.

**Tabla 12 :** Niveles de significación estadísticos del efecto de la dieta para los ácidos grasos totales (%) de la grasa intramuscular (IM, *longissimus dorsi*) y de la grasa subcutánea (SC) (%).

AG (%)	IM	AG (%)	IM	SC	
C12:0	ns	ns	C18:3n6	**	**
C13:0	-	-	C20:0	*	ns
isoC14:0	*	ns	C18:3n3c9,c12,c15 (ALA)	***	***
C14:0	ns	ns	9c11tCLA	ns	ns
isoC15:0	ns	ns	10t12cCLA	ns	ns
C14:1c9	ns	*	C20:1c11	ns	*
anteisoC15:0	ns	ns	9c11cCLA	ns	ns
C15:0	ns	ns	9t11tCLA	ns	ns
isoC16:0	ns	ns	Furyl	ns	ns
C15:1	ns	ns	C20:2c11,c14	**	ns
C16:0	ns	**	C20:3n6c8,c11,c14	ns	ns
C16:1t9	ns	ns	C20:4n6 (AA)	ns	***
isoC17:0	ns	***	C20:5n3 (EPA)	ns	ns
C16:1c9	ns	***	C24:0	-	-
anteisoC17:0	ns	*	C22:3n3c13,c16,c19	ns	ns
Phytanic	*	**	C22:4n6c7,c10,c13,c16	ns	*
C17:0	ns	ns	C22:5n3c7,c10,c13,c16,c19 (DPA)	ns	ns
C17:1c10	ns	**	C22:6n3c4,c7,c10,c13,c16,c19 (DHA)	ns	-
C18:0	ns	*	AGS	ns	*
C18:1t11	***	**	AGM	**	ns
C18:1c9	ns	ns	AGPI	ns	*
C18:1c11	ns	ns	AGPI/AGS	ns	*
C18:2n6t9t12	***	***	n6	ns	***
C18:2n6c9c12 (LA)	*	***	n3	***	***
C18:2n3t9,t12,c15	ns	ns	n6/n3	***	***
C18:3n3t9,c12,t15	ns	**	BAME	ns	**
C18:3n3c9,t12,t15	ns	ns	CLA	ns	ns
	Total áci	l dos grasos	II s (mg / g)	ns	ns
ns : no significativo; *p<0,05	5; **p<0,01; ***	*p<0,001			



### 2.1. DEPÓSITO INTRAMUSCULAR

La Tabla 13 muestra aquellos ácidos grasos del depósito intramuscular que presentaron diferencias en función de la dieta. Se observa que para el ácido graso C18:3 cis-9, cis-12, cis-15 (p<0,001) y para los sumatorios n-3 (p<0,001) y AGM (p<0,01) lo que afecta no es la cantidad de lino (lino 5% o lino 10%) sino añadir lino en la dieta de forma que todos ellos aumentan al incorporar lino en la dieta.

Para el caso concreto del ratio n-6/n-3 (p<0,001) también le afecta la cantidad de lino, pero en este caso, el ratio disminuye acercándose al ratio deseado (inferior a 4), según se añade lino en la dieta, aunque no se aprecian diferencias significativas entre el lote 5% y el lote 10%.

En cambio, a los ácidos grasos C18:1 *trans*-11 y C18:2 *trans*-9, *trans*-12 (p<0,001) sí que les afecta la cantidad de lino existente en la dieta suministrada, observándose una mayor cantidad de dichos ácidos grasos en el lote lino 10%.

En el caso del isoC14:0 hay diferencias significativas al comparar el lote control y el lote lino 5 % (p<0,05), mientras que el lote lino 10% tiene un valor intermedio entre ambos de forma que al aumentar el lino disminuye la cantidad del isoC14:0.

Por otro lado, para los ácidos grasos C18:3n6 *cis*-6, *cis*-9, *cis*-12 (p<0,01), C20:0 y C18:2 *cis*-9, *cis*-12 (p<0,05), muestran diferencias entre el lote control y el lote lino 10 %, el lote control tiene mayor porcentaje de estos ácidos grasos que el lote lino 10%. Pero no existen diferencias entre éstos y el lote lino 5 %, encontrándose éste con un valor intermedio entre los susodichos.

Por último, estudiando en concreto el ratio AGPI/AGS, el ratio n-6/n-3 y la serie n-3, en concreto para el linolénico y sus derivados, se observa que el ratio AGPI/AGS no está afectado por la dieta, sin embargo el ratio n-6/n-3 y la serie n-3 sí. En ambos casos no se observan diferencias entre las dietas que contienen lino, es decir, se observa que el lote control está por un lado, y los lotes lino 5 y 10 % por otro lado, de forma que la incorporación de lino en la dieta hace que aumente el sumatorio n-3 y disminuya el ratio n6/n3.



Dentro de la serie n-3, al único que le afecta significativamente la dieta es al C18:3n3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15, en el que también se distingue de forma clara que existen diferencias entre el lote control por un lado y los lotes lino 5 y 10 % por el otro, de la misma forma que al sumatorio n-3, al introducir lino en la dieta se produce un incremento del linolénico.

**Tabla 13 :** Medias, errores típicos y efecto de la dieta en la composición en ácidos grasos de la grasa intramuscular (*longissimus dorsi*) (%) en corderos de raza Navarra.

IM	Со	ntrol		Lin	0 5%		Lino 10%			
AG (%)	Media	SE		Media	SE		Media	SE		Sig.
isoC14:0	0,05	0,01	b	0,03	0,00	a	0,04	0,01	ab	*
Phytanic	0,06	0,00	-	0,05	0,00	-	0,05	0,00	-	*
C18:1t11	4,69	0,34	b	5,82	0,34	b	7,62	0,59	a	***
C18:2n6t9t12	0,13	0,02	b	0,16	0,02	b	0,30	0,03	a	***
C18:2n6c9c12	7,10	0,30	b	6,28	0,44	ab	5,68	0,28	a	*
C18:3n6	0,10	0,00	b	0,08	0,01	ab	0,07	0,01	a	**
C20:0	0,11	0,02	b	0,07	0,01	ab	0,06	0,01	a	*
C18:3n3c9,c12,c15	0,47	0,09	b	0,92	0,08	a	1,11	0,07	a	***
C20:2n6c11,c14	0,07	0,01	ab	0,08	0,01	b	0,04	0,00	a	**
AGM	39,37	0,34	b	40,89	0,54	a	41,12	0,27	a	**
n3	0,83	0,09	b	1,35	0,09	a	1,58	0,08	a	***
n6/n3	13,49	1,01	b	6,47	0,32	a	5,37	0,54	a	***
ns : no significativo; *p<0,05 ; *;	*p<0,01; ***p<	0,001	1	1	I	1		1	1	<u> </u>

### 2.2. DEPÓSITO SUBCUTÁNEO

En la Tabla 14 aparecen aquellos ácidos grasos en los que el efecto dieta ha sido significativo. Por ejemplo, para aquellos como el isoC17:0, C16:1 *cis*-9, C18:2 *cis*-9, *cis*-12, C20:4n6 (p<0,001), para C18:3n6 *cis*-6, *cis*-9, *cis*-12, Phytanic (p<0,01) les afecta si la dieta contiene lino (lote lino 5 % y lote lino 10 %) o no lo contiene (lote control), siendo todos ellos más abundantes en la dieta control.

Por el contrario, los ácidos grasos C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 (p<0,001) y C18:0 (p<0,05) aumentan con la presencia de lino en la dieta.



En cuanto a los sumatorios, del mismo modo que los casos anteriores, dependen de si hay lino en la dieta, y no de la cantidad. Los AGPI (p<0,05), los n-6 y el ratio n-6/n-3 (p<0,001) disminuyen y los n-3 (p<0,001) aumentan al añadir lino en la dieta.

En la Tabla 14 se ven dos ácidos grasos a los que sí les afecta la cantidad de lino en la dieta que son el C18:2 *trans*-9, *trans*-12 (p<0,001) y el C18:3 *trans*-9, *cis*-12, *trans*-15 (p<0,01), por lo que estos ácidos grasos presentan porcentajes mayores en la dieta que contiene un 10 % de lino.

Además, se advierte que los ácidos grasos anteisoC17:0, C22:4n6, el sumatorio AGS (p<0,05) y C17:1 *cis*-10 (p<0,01) adquieren valores extremos al comparar el lote control y el lote lino 5 %, mientras para el lote lino 10 % adquieren proporciones intermedias entre los otros dos lotes.

Los ácidos grasos C18:1 *trans*-11 (p<0,01), C14:1 *cis*-9, C20:1 *cis* -11 y el ratio AGPI/AGS (p<0,05), obtienen valores extremos entre el lote control y el lote lino 10 % con evidencias significativas, los valores del lote lino 5 % se encuentran en un punto medio entre ambos, sin diferencias significativas con ninguno de los dos.

Para concluir, al observar el ratio AGPI/AGS en ningún tratamiento tiene el valor deseado (superior o igual a 0,45), el ratio n-6/n-3 sí que alcanza los valores adecuados que son inferiores a 4 en los lotes lino 5% y lino 10 % y junto a la serie n-3 y la serie n-6 varían en función de si existe o no lino en la dieta.

En la serie n-3, sobre los que tiene efecto la dieta son el C18:3 *trans*-9, *cis*-12, *trans*-15 y el C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15, en este último destacan las diferencias entre el lote control por un lado y los lotes lino 5 % y lino 10 % por el otro.



**Tabla 14**: Medias, errores típicos y efecto de la dieta en la composición en ácidos grasos de la grasa subcutánea (%) en corderos de raza Navarra.

SC	C	Control Lino 5%					Li			
AG (%)	Media	SE		Media	SE		Media	SE		Sig.
C14:1c9	0,13	0,01	b	0,11	0,01	ab	0,10	0,01	a	*
C16:0	28,11	0,46	b	29,62	0,41	a	27,81	0,43	b	**
isoC17:0	0,32	0,02	b	0,22	0,01	a	0,21	0,02	a	***
C16:1c9	1,60	0,07	b	1,39	0,05	a	1,27	0,03	a	***
anteisoC17:0	0,97	0,04	b	0,76	0,04	a	0,87	0,07	ab	*
Fitánico	0,05	0,00	b	0,04	0,00	a	0,04	0,00	a	**
C17:1c10	1,33	0,09	b	0,99	0,07	a	1,06	0,09	ab	**
C18:0	13,31	0,46	b	14,63	0,37	a	14,63	0,26	a	*
C18:1t11	9,30	0,77	b	11,23	0,66	ab	13,71	1,13	a	**
C18:2n6t9t12	0,24	0,06	b	0,38	0,04	b	0,63	0,08	a	***
C18:2n6c9c12	4,36	0,21	b	3,00	0,19	a	2,61	0,18	a	***
C18:3n3t9,c12,t15	0,10	0,01	b	0,10	0,01	b	0,16	0,02	a	**
C18:3n6	0,07	0,00	b	0,05	0,00	a	0,05	0,00	a	**
C18:3n3c9,c12,c15	0,64	0,10	b	1,10	0,09	a	1,18	0,07	a	***
C20:1c11	0,03	0,01	b	0,05	0,01	ab	0,06	0,01	a	*
C20:4n6	0,18	0,01	b	0,12	0,01	a	0,12	0,01	a	***
C22:4n6c7,c10,c13,c16	0,03	0,01	b	0,01	0,00	a	0,01	0,00	ab	*
AGS	51,04	0,74	b	53,36	0,58	a	51,95	0,61	ab	*
AGPI	5,83	0,26	b	4,96	0,28	a	4,97	0,19	a	*
AGPI/AGS	0,14	0,01	b	0,13	0,01	ab	0,12	0,00	a	*
n6	4,94	0,22	b	3,63	0,20	a	3,48	0,16	a	***
n3	0,89	0,11	b	1,33	0,09	a	1,49	0,07	a	***
n6/n3	6,29	0,34	b	2,81	0,08	a	2,48	0,22	a	***
BAME	2,14	0,07	b	1,73	0,07	a	1,85	0,12	ab	**
ns : no significativo; *p<0	0,05; **p<0	),01;***	°p<0,00	01	l	ı	1		I.	

# 3. EFECTO DEPÓSITO

Para completar el estudio se hizo un análisis de la influencia del depósito sobre la composición de los ácidos grasos. Se realizó un análisis de varianza factorial con el procedimiento modelo lineal general univariante. Para ello, se seleccionaron los ácidos grasos de mayor interés dados los efectos en estudio así como las relaciones entre los mismos.



Los niveles de significación resultantes tras el ANOVA se muestran en la Tabla 15 y Tabla 16, donde se observa el efecto del factor, depósito, en los ácidos grasos, en los sumatorios y en las relaciones entre los ácidos grasos (n-6/n-3 y AGPI/AGS).

En la Tabla 15 se puede observar como el factor depósito afecta significativamente a los siguientes ácidos grasos : C18:1 *trans*-11, C18:2 *cis*-9, *cis*-12, C18:3n6, C20:4n6, C20:5n3, C22:5n3, AGS, AGPI, AGPI/AGS, n-6, n6/n3 (p<0,001), 9t11tCLA (p<0,01), C22:3n3, C18:3 *trans*-9, *trans*-12, *cis*-15 y 9c11t CLA (p<0,05). Mientras que los AGM, CLA, n-3, C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*15, C18:3 *trans*-9, *cis*-12, *trans*-15, C18:3 *cis*-9, *trans*-12, *trans*-15 y 10t12cCLA no tienen efecto significativo.

Tabla 15: Niveles de significación estadísticos del efecto del depósito para los ácidos grasos totales (%).

AG (%)	Sig.						
C18:1t11	***						
C18:2n6c9c12	***						
C18:2n3t9,t12,c15	*						
C18:3n3t9,c12,t15	ns						
C18:3n3c9,t12,t15	ns						
C18:3n6	***						
C18:3n3c9,c12,c15	ns						
9c11tCLA	*						
10t12cCLA	ns						
9c11cCLA	*						
9t11tCLA	**						
C20:4n6	***						
C20:5n3	***						
C22:3n3c13,c16,c19	*						
C22:5n3c7,c10,c13,c16,c19	***						
C22:6n3c4,c7,c10,c13,c16,c19	-						
AGS	***						
AGM	ns						
AGPI	***						
AGPI/AGS	***						
n6	***						
n3	ns						
n6/n3	***						
BAME	***						
CLA	ns						
ns : no significativo; *p<0,05 ; **p<0,01 ;							



La Tabla 16 completa la información añadiendo el efecto del factor dieta en cada tratamiento con las medias y los errores típicos de la media. Como puede observarse no hay un efecto significativo de la dieta sobre la serie n-3, y tampoco para el linolénico, el ácido de la serie n-3 más abundante. Sin embargo al estudiar cada ácido graso por separado se ve que tanto el C18:3 *trans*-9, *trans*-12, *cis*-15 como el C22:3n3 el efecto depósito sólo causa un nivel estadísticamente significativo para el lote control, pero no así para las dietas lote lino 5 y 10 %.

Para los casos C20:5n3 (EPA) y C22:5n3 (DPA) el efecto depósito para las tres dietas es alto siendo en el intramuscular donde se encuentra más cantidad de ambos ácidos grasos.

En el caso de la serie n-6 (p<0,001), su porcentaje es más alto en el depósito intramuscular a causa de un alto contenido de linoléico (p<0,001), siendo este ácido graso el más abundante de la serie n-6 en dicho depósito.

Respecto al C18:3n6 y el araquidónico (C20:4n6) (p<0,001), este último es más abundante en el IM. El C18:3n6 tiene un valor superior en el depósito IM para el lote control (p<0,001), y para el lote lino 5 % (p<0,01) pero no así para el lote lino 10 % (p>0,05), en el que no se ven efectos significativos de la dieta sobre el mismo.

Contando con lo anteriormente citado, se señala que el ratio n6/n3 es más alto en el depósito intramuscular que en el subcutáneo, alcanzando en el depósito subcutáneo los valores deseados (n6/n3 < 4).

Se ha estudiado en concreto el ácido vaccénico (C18:1t11) por su relación con los CLA. Se muestra en la Tabla 16 que para las tres dietas el efecto depósito tiene un efecto estadístico significativo (p<0,001), siendo sus valores superiores en el depósito SC.

Entre los CLA (p>0,05) los que cabe señalar en cuanto el efecto del depósito son : el 10t12cCLA en el que no hay efecto para el lote control y lote lino 5 % pero sí en el lote lino 10 % (p<0,01), el 9c11cCLA, donde el único efecto ha sido sobre el lino 5 % (p<0,05) y el 9t11tCLA que como en los casos anteriores sólo hay efecto sobre una de las dietas, en este caso el lote control (p<0,05).



Los BAME obtienen valores superiores en el depósito SC para los tres casos (p<0,001).

El depósito SC resulta ser más saturado que el depósito IM, el efecto se ve claramente en los tratamientos lote control (p<0,05) y lote lino 5 % y lote lino 10 % (p<0,001), donde hay mayor contenido de ácidos grasos saturados en el SC y menor de ácidos grasos insaturados para las tres dietas (p<0,001).

Por lo tanto, el ratio AGPI/AGS es más alto para el depósito IM, aunque no alcanza la proporción recomendada AGPI/AGS>0,45.



**Tabla 16 :** Medias y error típico para cada depósito y para cada dieta y niveles de significación estadísticos del efecto del depósito en los ácidos grasos totales (%).

del efecto del depósito en los ácidos g  AG (%)	Depósito				Li	no 5%		Lino 10%		
AG ( /0)	Deposito	Media	SE	Sig.	Media	SE	Sig.	Media	SE	Sig.
	IM	4,69	0,34		5,82	0,34		7,62	0,59	
C18:1t11	SC	9,30	0,77	***	11,23	0,66	***	13,71	1,13	***
C18:2n6c9c12	IM	7,10	0,30	***	6,28	0,44	***	5,68	0,28	***
	SC	4,36	0,21		3,00	0,19		2,61	0,18	
C18:3n3t9,t12,c15	IM	0,06	0,01	*	0,06	0,01	ns	0,05	0,01	
	SC	0,08	0,00		0,06	0,01		0,07	0,01	ns
C18:3n3t9,c12,t15	IM	0,10	0,01	ns	0,10	0,01	ns	0,13	0,02	
	SC	0,10	0,01		0,10	0,01		0,16	0,02	ns
C18:3n3c9,t12,t15	IM	0,03	0,00	ns	0,03	0,00	ns	0,03	0,00	ns
	SC	0,03	0,00		0,03	0,00		0,03	0,00	
C18:3n6	IM	0,10	0,00	***	0,08	0,01		0,07	0,01	ns
	SC	0,07	0,00		0,05	0,00	**	0,05	0,00	
	IM	0,47	0,09		0,92	0,08		1,11	0,07	
C18:3n3c9,c12,c15	SC	0,64	0,10	ns	1,10	0,09	ns	1,18	0,07	ns ns
	IM	0,04	0,10		0,09	0,02		0,09	0,01	
9c11tCLA	SC	0,10	0,01	ns	0,07	0,02	ns	0,03	0,01	
	IM	0,10	0,01		0,03	0,01		0,13	0,02	
10t12cCLA	SC	0,03	0,01	ns	0,03	0,00	ns	0,05	0,00	**
	IM	0,04	0,00		0,03	0,00		0,03	0,00	ns
9c11cCLA	SC	0,11	0,00	ns	0,11	0,01	*	0,09	0,01	
9t11tCLA	IM		0,01		0,08			0,08	0,01	ns
	SC	0,07		*	0,06	0,02	ns	0,09	0,02	
C20:4n6 (AA)		0,05	0,01		,	0,00				
	IM	1,84	0,13	***	1,67	0,12	***	1,61	0,14	***
C20:5n3 (EPA)	SC IM	0,18 0,11	0,01		0,12 0,12	0,01	. ***	0,12 0,15	0,01	
	SC		_	***				-	0,02	***
C22:3n3c13,c16,c19		0,02	0,00	*	0,01	0,00	ns	0,02	0,00	
	IM SC	0,21			0,05	0,00		0,12	0,02	ns
C22:5n3c7,c10,c13,c16,c19 (DPA)  C22:6n3c4,c7,c10,c13,c16,c19 (DHA)		0,05	0,01	***	0,04	0,00	***	0,03		***
	IM	0,14	0,02		0,13	0,02		0,11	0,02	
	SC	0,04	0,01		0,03	0,00		0,03	0,00	
	IM	0,05			0,02	0,00		0,02		
	SC	40.66	- 0.50		47.02	0.70		47.00	0.50	
AGS	IM	48,66	0,58	*	47,83	0,72	***	47,92	0,52	***
	SC	51,04	0,74		53,36	0,58		51,95	0,61	
AGM	IM	39,37	0,34	ns	40,89	0,54	ns	41,12	0,27	ns
	SC	40,61	0,59		39,62	0,43		40,85	0,51	
AGPI	IM	10,33	0,42	***	9,84	0,65	***	9,46	0,44	***
-	SC	5,83	0,26		4,96	0,28		4,97	0,19	
AGPI/AGS	IM	0,26	0,01	***	0,24	0,02	***	0,23	0,01	***
	SC	0,14	0,01		0,13	0,01		0,12	0,00	<b></b>
n6 n3	IM	9,50	0,42	***	8,49	0,57	***	7,88	0,41	***
	SC	4,94	0,22		3,63	0,20		3,48	0,16	
	IM	0,83	0,09	ns	1,35	0,09	ns	1,58	0,08	ns
	SC	0,89	0,11		1,33	0,09	110	1,49	0,07	113
n6/n3	IM	13,49	1,01	***	6,47	0,32	***	5,37	0,54	***
	SC	6,29	0,34		2,81	0,08		2,48	0,22	
BAME	IM	1,24	0,07	***	1,06	0,05	***	1,14	0,06	***
	SC	2,14	0,07		1,73	0,07		1,85	0,12	
CLA	IM	0,30	0,02	ns	0,28	0,02	ns	0,28	0,03	ns
CLIT	SC	0,29	0,02	113	0,26	0,02	115	0,31	0,02	



# CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN

### 1. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS

### 1.1. DEPÓSITO IMTRAMUSCULAR

Los ácidos grasos mayoritarios son el C18:1 *cis*-9, el C16:0 y el C18:0 con unos porcentajes del 29,93, 27,38 y 14,48 % respectivamente, en cuanto a los sumatorios el porcentaje de los CLA es de 0,29 % y en cuanto a las relaciones entre los ácidos grasos, el ratio n-6/n-3 es 8,56 y el ratio AGPI/AGS 0,25 (Tabla 10). Los AGS representan en el depósito IM el 48,15 %, mientras que los AGPI son el 9,89 %.

Los ácidos grasos más abundantes coinciden con resultados similares a los encontrados en bibliografía, por Wachira *et al* (2002) que obtuvieron unos valores de 33,23, 23,50 y 13,09 % para dichos ácidos grasos.

Respecto al ratio n-6/n-3 Jerónimo *et al* (2009) estudió la sustitución en la dieta de aceite de girasol por aceite de linaza, obtuvo una relación de 7,04 para una alimentación basada en aceite de girasol y de 1,6 para aceite de lino. Los valores del presente estudio se asemejan más al porcentaje de una alimentación basada en girasol. Podría ser debido a que en el estudio de Jerónimo el contenido en el ácido graso ALA, el más abundante de la serie n-3, en comparación con el del presente estudio es diferente. En Jerónimo el porcentaje de ALA es mayor, 3,05 %, a diferencia de la proporción de éste estudio 0,84 %. Lo que podría ser a causa de la biohidrogenación ruminal. El lino suministrado en éste estudio tenga un menor protección en el rumen que el lino aportado por Jerónimo.

Aunque por otro lado, en el presente estudio se obtuvo un n-3 de 1,2 %, un porcentaje muy bajo, a lo que puede ser debido un ratio n-6/n-3 tan alto. Una competencia entre 18:2n6 y 18:3n3 por las enzimas de desaturación y elongación podría explicar esos porcentajes (Simopoulos, 2002).

No obstante no explica el bajo contenido en CLA. Suministrar aceite de semilla de lino resulta ser menos efectivo en el incremento de los CLA en el músculo *longissimus* 



dorsi que el aceite de la semilla del girasol (Jerónimo et al, 2009). Conviene destacar que el porcentaje de los CLA en Jerónimo es superior al valor de los CLA presentes en este estudio, que podría ser porque la protección del lino fuese más efectiva que la existente en este estudio.

En cuanto al ratio AGPI/AGS en el porcino se consiguieron ratios superiores a los 0,40 (Kouba *et al*, 2003) y en ovino unos valores de 0,2 (Costa *et al*, 2009), por lo que un ratio en este estudio de 0,25, coherente con Costa será debido al diferente sistema digestivo entre monogástricos y rumiantes, en estos últimos se dan dos procesos hidrólisis y biohidrogenación reduciéndose el número de dobles enlaces (Relling & Mattioli, 2002).

### 1.2. DEPÓSITO SUBCUTÁNEO

Los resultados en el depósito subcutáneo (Tabla 11) fueron los siguientes: los ácidos grasos predominantes, el C18:1c9 con un 24,49 %, el C16:0 con un 28,55 % y el C18:0 con un 14,18 %. El C22:6n3 (DHA) no se detectó en ninguna muestra. El ratio n-6/n-3 fue de 3,89, con valores de n-6 y n-3 de 4,03 y 1,23 % respectivamente. Los CLA tienen un porcentaje del 0,28 %. El ratio AGPI/AGS el valor es de 0,13. Los AGPI son un 5,26 % del total de ácidos grasos y los AGS un 52,14%.

El 22:6n3 descrito por Wachira *et al* (2002) en las tres razas de ovino que se estudiaron no se detectó o se detectó en una muy baja proporción, como ocurre en este caso. Se planteó que fuera a causa de la baja incorporación de ácidos grasos de cadena larga de la serie n-3 como ocurre en el depósito intramuscular.

Las proporciones de la serie n-3 son similares tanto para el depósito intramuscular como para el subcutáneo, pero, el subcutáneo a diferencia del intramuscular, posee un ratio n-6/n-3 inferior a 4, gracias a una proporción menor de la serie n-6. Podría suceder que ambos depósitos acumulan distintas cantidades de los ácidos grasos procedentes de los triglicéridos contenidos en las proteínas circulantes, o existe una diferencia de síntesis de los ácidos grasos de cadena larga, que se debe al distinto número de células adiposas que contiene cada depósito (hiperplasia) (Ingle *et al*, 1972).



Juárez *et al* (2009), observó que a mayor peso alcanzado del cordero las proporciones de los CLA disminuían, aunque dichas proporciones son más altas que las de este estudio, que al igual que el depósito intramuscular, tiene un pequeño porcentaje de 0,28 %, este hecho puede ser explicado por la falta de eficacia en la incorporación de lino para formar otros ácidos grasos.

El ratio AGPI/AGS fue de 0,13 lo que concuerda con los de Demirel *et al* (2004), siendo este ratio superior al del intramuscular, lo que sugiere que el depósito subcutáneo contiene un porcentaje mayor de ácidos grasos saturados y un menor porcentaje de ácidos grasos insaturados dando lugar a un valor muy inferior al 0,45 recomendado.

### 2. EFECTO DIETA

#### 2.1. SOBRE EL DEPÓSITO INTRAMUSCULAR

Los derivados animales, como la carne, pueden ser enriquecidos (mayor contenido en ácidos grasos insaturados) con suplementos a base de aceites vegetales (Jerónimo *et al*, 2009).

Aunque, no todos los aceites vegetales afectan por igual, Jerónimo demostró que el aceite de palma no produjo ningún efecto significativo sobre la composición en ácidos grasos mientras que el aceite de girasol mejoró la composición tanto en el depósito intramuscular como en el subcutáneo.

En el presente estudio el efecto de la dieta no afectó a un gran número de ácidos grasos. Los ácidos grasos de interés como los CLA o el ratio AGPI/AGS, tampoco se vieron afectados como también observó Kitessa *et al* (2009).

No obstante, la serie n-3 sí se vio afectada, su porcentaje se vio incrementado con la inclusión de lino en la dieta, sobre todo, en una mayor proporción del lote control al lote lino 5 %. Este resultado coincide con los datos que obtuvo Kitessa *et al* (2009), donde se vio que hubo un incremento total de la serie n-3 (g / 100g ácidos grasos totales), con un mayor aumento de la serie n-3 en las tres primeras semanas de tratamiento con aceite de lino protegido. Con un mayor período de tratamiento se elevó solo ligeramente su porcentaje.



Sin embargo, obtuvieron aunque de manera no tan efectiva como con el linolénico, ligeros incrementos de los ácidos grasos EPA, DPA y DHA, que también se observaron para otros autores como Wachira (2002) y Jerónimo (2009). Por lo que se puede decir que en nuestro estudio o se producen altos niveles de biohidrogenación ruminal o no hay evidencia de una buena elongación y desaturación del C18:3n3 (Raes *et al*, 2004), que podría ser debido a una inactividad del sistema enzimático encargado de la biosíntesis de las cadenas largas de la serie n-3.

Lo que esta biohidrogenación ruminal también podría explicar es que, a pesar de que se produce un aumento del ácido graso C18:1t11, sobre todo en mayor proporción del lote lino 5 % al lote lino 10 %, no hay un incremento de la proporción de los CLA.

Comparando distintas especies, se ve en el estudio de Enser *et al* (1996) que recogió diferentes muestras de carne de cerdo, vaca y oveja en distintos supermercados, mostró que el que mayor concentración de linoleico tenía era el cerdo y en cuanto al linolénico la oveja. También vio que entre los rumiantes, se diferenció el ovino con una mayor proporción de C20:5n3, C22:5n3 y C22:6n3.

Aunque en posteriores estudios, la inclusión de semilla de lino en la dieta pareció que para las tres especies la conversión de C18:3n3 en sus derivados de larga cadena, EPA y DPA era limitada, en el depósito intramuscular y que no tenía efecto en la incorporación de DHA al depósito. Sin embargo, en cuanto a un aumento de los CLA en el porcino se consigue con incorporarlo directamente en la dieta, no así para las especies rumiantes (Raes *et al*, 2004).

Se contrarresta con el estudio realizado por Scollan *et al* (2001) en el que el ganado vacuno el aumento de la disponibilidad del 18:3n3 (dieta en base a lino y aceite de pescado) derivó en un incremento de la síntesis del C20:5n3, C22:5n3 y C22:6n3, de la serie n-3 y del ratio n-6/n-3. Estos datos concuerdan con los resultados obtenidos por Demirel *et al* (2002) para ganado ovino y con el mismo tipo de alimento. Con todo ello, lo que se podría decir es que este tipo de alimentación enriquecido con C18:3n3 tiene un efecto positivo en el incremento de porcentaje en dichos ácidos grasos. Aunque no se puede demostrar con los resultados obtenidos en el presente estudio.



### 2.2. SOBRE EL DEPÓSITO SUBCUTÁNEO

El efecto dieta, como se muestra en la Tabla 12, tiene más efecto sobre el depósito subcutáneo que sobre el intramuscular. En este sentido, estudios anteriores han mostrado también que el depósito subcutáneo es más susceptible a responder a variaciones de la composición en ácidos grasos en la dieta suministrada o a cambios en el metabolismo del rumen (Lourenço *et al*, 2007). Además, de que el depósito subcutáneo incrementa su actividad lipogénica a mayor edad del rumiante (Ingle *et al*, 1972).

En relación a los datos de interés en este estudio, se muestra que tanto el ratio n-6/n-3, como las series n-3 y n-6 varían con la incorporación de lino en la dieta. Los dos primeros se ven influidos aumentando su proporción al añadir lino, del lote control al lote lino 5 % como le ocurre también al linolénico. Mientras que la serie n-6 disminuye al incluir lino en la dieta. Estos resultados se asemejan, aunque son proporciones inferiores a las de este estudio, a los obtenidos por Demirel *et al* (2004) en el que el ratio n6/n3 disminuyó y el C18:3n3 aumentó en las dietas de lino y lino con aceite de pescado en comparación con la dieta control, que era superior.

Dentro de la serie n-6, el que mayor proporción tiene es el C18:2n6, que disminuye al incluir lino en la dieta. Esta disminución junto con el aumento del C18:0, del C18:1t11 y con la poca proporción de CLA, podría indicar que la protección de la dieta no era absoluta, produciéndose la biohidrogenación ruminal del C18:2n6. Aunque, los CLA a su vez también se producen por la conversión endógena del C18:1t11 al C18:2 c9t11 por medio de la enzima Δ9 (Bauman *et al*, 2000), por lo que también podría ser una inactividad enzimática.

En el estudio de Vasta *et al* (2009) el alimento suministrado eran dos dietas distintas, por un lado forraje (leguminosa) y por otro concentrado, que tuvieron efecto sobre la composición en ácidos grasos pero no así en el efecto de la expresión proteica de la  $\Delta 9$  desaturasa.

Respecto al ratio AGPI/AGS, el efecto dieta no aumenta el ratio, sino que lo reduce. En otros estudios (Arana *et al*, 1994) donde utilizaron jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite de oliva en el pienso para cebo de corderos no obtuvieron cambios en el porcentaje



del ratio AGPI/AGS por el efecto dieta, tuvieron unos resultados del 0,13% similares a los de nuestro estudio.

En cambio, Demirel *et al* (2004) muestra un gran efecto del lino sobre el ratio AGPI/AGS. Al incorporar lino en la dieta la proporción del ratio es superior al encontrado en el lote control o en el lote alimentado en base a lino más aceite de pescado.

Con lo que se podría concluir, que estudiándose los sumatorios del ratio de manera individual, los AGPI ven reducido su porcentaje al incluir lino en la dieta, y AGS que la incorporación del lino (lino 5 %) provoca un aumento del mismo, que podría ser explicado por el aumento de la biohidrogenación o por síntesis *de novo* de los ácidos C16:0 y C18:0.

Si se hace una comparación entre especies se ve que entre porcino, vacuno y ovino, el que mayor concentración de linoleico y linolénico tiene es con diferencia el porcino (Enser *et al*, 1994). Parece que se puede afirmar que el depósito subcutáneo de los animales monogástricos es más fácil alterarlo con el tipo de dieta que el de los rumiantes.

Como cabría suponer el vacuno y ovino, rumiantes, se asemejan en que no se han identificado los ácidos grasos C20:5n3, C22:5n3 y C22:6n3 en el tejido adiposo (Enser *et al*, 1996).

Aunque entre los propios rumiantes existen diferencias. El depósito subcutáneo de las cabras resulta menos saturado, relativamente mayor en ácidos grasos monoinsaturados y contiene menor proporción de C18:2n6, C18:3n3 comparado con las ovejas (Banskalieva *et al*, 2000).

# 3. EFECTO DEL DEPÓSITO SOBRE LA COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS

Tanto en los rumiantes como en el ganado porcino, la grasa de los depósitos internos (omental, mesentérica y pelvicorrenal) se caracteriza por ser más saturada que la que constituye los depósitos relacionados directamente con la calidad de la carne (subcutánea e intramuscular) (Ziegler *et al*, 1967).



En el presente estudio se muestra que el efecto depósito tiene una gran influencia sobre la composición en ácidos grasos. Se observa que el depósito intramuscular no sólo es el que presenta una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados sino que también, un menor porcentaje de ácidos grasos saturados, lo que conlleva a un mejor ratio AGPI/AGS. Entre los AGPI, en la serie n-3 para ambos depósitos un porcentaje similar, pero la serie n-6 presenta un mayor porcentaje en el IM. La diferencia entre el depósito intramuscular y el subcutáneo se puede deber al distinto tipo de crecimiento y desarrollo de ambos depósitos.

Los depósitos viscerales que rodean y sirven de protección a los órganos vitales se desarrollan muy temprano y los depósitos de tejido adiposo intermuscular, subcutáneo e intramuscular lo hacen rápidamente y muy tarde (Núñez, 2009), siendo el intramuscular el último depósito en desarrollarse. Así que, según el animal crece, la energía ingerida será depositada en el depósito subcutáneo y menos energía será utilizada para crecer (hueso y músculo).

Lee *et al* (1973) observaron que los adipocitos que el depósito que tenía las células más largas era el subcutáneo, el intramuscular las más pequeñas, y el omental un tamaño intermedio, y que la grasa depositada en el depósito intramuscular solo era el 12 % del total de grasa depositada en el cuerpo, pero poseía el 45 % del total del número de células adiposas.

Además, el depósito intramuscular no sólo contiene triglicéridos en las células adiposas, sino que también se encuentran lípidos como gotas lipídicas intracelulares en la fibra muscular (Demeyer & Doreau, 1999).

Los ácidos grasos de las células adiposas forman parte de la gota lipídica (triglicéridos o lípidos neutros) y de las paredes celulares (fosfolípidos o lípidos polares). Enser *et al* (1996) encontró que los ácidos grasos insaturados C20 y C22 estaban presente principalmente presente en los fosfolípidos del músculo. En éste estudio se encontró principalmente que en el depósito intramuscular tenía mayor proporción de linoleico (C18:2n6) y araquidónico (C20:4n6).



Los rumiantes tienden a retener de forma específica las pequeñas cantidad de AGPI que se escapan de la biohidrogenación ruminal preferentemente mediante su incorporación en los ésteres de colesterol plasmático formado a través de la lecitina-colesterol acil*trans* ferasa, que incorporan estos ácidos grasos polienoicos de manera específica en las membrana fosfolipídica (Demeyer & Doreau, 1999).

En conclusión, se podría decir que el diferente contenido en ácidos grasos de ambos depósitos se debe a la distinta forma de crecer y desarrollarse (hiperplasia e hipertrofia), y a la distinta composición en ácidos grasos entre la parte polar y la no polar de la célula adiposa.



## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo fin de carrera se concluye que :

- 1. Los ácidos grasos detectados en el depósito intramuscular fueron 44 y en el subcutáneo 43. En ambos depósitos los ácidos grasos mayoritarios fueron el C18:1 *cis*-9, el C16:0 y el C18:0.
- 2. Se puede afirmar que se ha observado una clara influencia de la dieta sobre los depósitos a nivel general, sin embargo se distingue un mayor efecto sobre el depósito subcutáneo que sobre el intramuscular, siendo en el primero un total de 24 ácidos grasos en los que ha influido la dieta, mientras que en el intramuscular 12.
- 3. En el depósito intramuscular donde hay más proporción de linolénico es en el lote lino 10 %. Sin embargo no hay grandes diferencias en la proporción del lote lino 5 % al 10 %. Se puede señalar que no le afecta la cantidad de lino, sino la presencia de lino en la dieta. Lo mismo ocurre con la serie n-3 y el ratio n-6/n-3. Aunque este último donde mayor es su ratio es en el lote control, no alcanzando en ninguno de los tres lotes el valor recomendado (n6-/n-3<4). Respecto al ácido graso C18:1 *trans*-11, en este caso, si le afecta la cantidad de lino, destacando el lote lino 10 % donde hay mayor proporción.

A pesar de que se han producido un incremento de los precursores de los ácidos grasos CLA y de los derivados de la serie n-3, estos no varían, no han sido influenciados por la dieta.

4. En el depósito subcutáneo se destaca que influye más sobre la composición de los ácidos grasos que haya lino presente en la dieta, y no la cantidad del mismo, es decir, apenas hay diferencias en la composición entre los lotes lino 5 % y lino 10 %. Para el caso del linolénico, sucede de este modo, siendo en el lote 10 % donde hay mayor proporción del mismo. Los ratios AGPI/AGS y el ratio n-6/n-3, aunque si hay un efecto dieta sobre ellos, sólo se consigue para este último ratio los valores recomendados en los lotes 5 y 10 % (AGPI/AGS>0,45).



Referente al ácido graso C18:1 *trans*-11 en el lote lino 10 % hay mayor proporción.

Como en el depósito intramuscular, no hay efecto de la dieta sobre los ácidos grasos CLA y de los derivados del linolénico. Se señala que aunque aumenta la serie n-3 es sólo gracias a que incrementa el linolénico.

- 5. Con estos resultados obtenidos se plantea que habría que estudiar otras formas de incrementar los ratios o las proporciones de ácidos grasos deseados en la carne del cordero, mediante otras formas de proteger al lino frente a la biohidrogenación ruminal, o mediante otras fuentes alimenticias como el aceite de pescado, lino con aceite de pescado, soja extrusionada que han resultados efectivas para el incremento de dichos ácidos grasos.
- 6. Comparando ambos depósitos se ha observado que existe una influencia del depósito sobre la composición en ácidos grasos. En el intramuscular hay mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados, una mayor cantidad de la serie n-6, y menos ácidos grasos saturados que en el subcutáneo.

Todo ello parece indicar que ambos depósitos poseen un crecimiento y desarrollo distinto, afectando a la composición en ácidos grasos de los mismos, aunque se deberían realizar más estudios para poder afirmarlo.



## BIBLIOGRAFIA

- Aldai N., Osoro K., Murray B.E., Nájera A.I., Troy D.J. (2005) Review: Derivatization of fatty acids and its application for conjugated linoleic acid Studies in ruminant meat lipids. Journal of the Science of Food and Agriculture 85: 1073-1083.
- Aldai N., Osoro K., Barrón L.J.R., Nájera A.I. (2006) Gas—liquid chromatographic method for analysing complex mixtures of fatty acids including conjugated linoleic acids (cis9trans11 and trans10cis12 isomers) and long-chain (n-3 or n-6) polyunsaturated fatty acids Application to the intramuscular fat of beef meat. Journal of Chromatography A, vol. 1110, 1-2: 133-139
- Alhaiud G., Grimaldi P., Negrel R. (1992) Cellular and molecular aspects of adipose tissue development. Annual Review of Nutrition vol. 12, 1: 207-233.
- Aizpuru I., Aseginolaza C., Uribe-Echebarría P.M., Urrutia P., Zorrakin I.
   (2003) Claves ilustradas de la flora del País Vasco y territorios limítrofes. 2ª reimpresión. Edita Eusko Jaurlarintzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia/Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Bilbao. pp. 830.
- Alzón M. (2003) Desarrollo y metabolismo del tejido graso de terneros de siete razas autóctonas españolas de aptitud cárnica. Tesis doctoral. Universidad Pública de Pamplona. Pamplona. pp. 221.
- Alzón M., Arana A., Mendizábal J., Eguinoa P. (2001) Utilización de jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite de oliva en el pienso para cebo de corderos: hipertrofia e hiperplasia en los adipositos. XXVI Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. Sevilla. Libro de Actas: 513-518.
- Arana A., Mendizabal J.A., Lizaso G., Horcada A., Soret B., Purroy A. (1994)
   Efecto del sexo sobre el tamaño y número de adipocitos en corderos de razas Lacha y
   Rasa Aragonesa. Producción ovina y caprina : XVIII Jornadas de la Sociedad
   Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia : 667-670.
- Bauman D.E., Baumgard L.H., Corl B.A., Griinari J.M. (2000) Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. Journal of Animal Science E-Supplement, 77: 1-15.



- Beriáin M. J., Horcada A., Purroy A., Lizaso G., Chasco J., Mendizábal J. A.
   (2000) Characteristics of Lacha and Rasa Aragonesa lambs slaughtered at three live weights. Journal of Animal Science vol. 78: 3070-3077.
- Bhattacharya A., Banu J., Rahman M., Causey J., Fernandes G. (2007) Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. The Journal of nutritional biochemistry vol. 17, 12: 789-810.
- Chow C.K., Lobb K. (2008) Fatty acid clasification and nomenclauture. In: Chow C.K. Fatty acids in foods and their health implications. Tercera edición. Taylor & Francis Group. Estados Unidos. pp. 1-17.
- Costa R.G., Malveira A.S., Azevedo P.S., Ramos do Egypto R.C., Madruga M.S.,
   Filho J.T.A. (2009) Lipid profile of lamb meat from different genotypes submitted to diets with different energy levels. Revista Brasileira de Zootecnia vol. 38, 3: 532-538.
- Crouse J.D., Busboom J.R., Field R.A., Ferrell C.L. (1981) The Effects of Breed,
  Diet, Sex, Location and Slaughter Weight on Lamb Growth, Carcass Composition and
  Meat Flavor. The Journal of Animal Science vol. 53, 2: 376-386.
- **Demeyer D., Doreau M. (1999)** Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. Proceedings of the Nutrition Society vol. 58 pp. 593-607.
- Demirel G., Wachira A.M., Sinclair L.A., Wilkinson R.G., Wood J.D., Enser M.
   (2004) Effect of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids, breed and dietary vitamina E on the fatty acids of lamb muscle, liver and adipose tissue. British Journal of Nutrition vol. 91, 551-565.
- Díaz Díaz-Chirón Maria Teresa (2001) Características de la canal de corderos lechales manchegos. Correlación y ecuaciones de predicción. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. pp. 295.
- **Diederichsen A., Richards K. (2003)** Cultivated flax in the genus *Linum* L.: Taxonomy and germplasm conservation. In: Alister D.M., Westcott N.D. Flax: The Genum Linum. Taylor & Francis Group. Londres. pp. 22-55.
- Eguinoa P., Granada A., Navarro S. (2004) Caracterización de las canales de cordero ternasco producido en Navarra. Navarra agraria, 147 : 31-37.



- Enser M., Hallett K., Hewitt B., Fursey G.A.J., Wood J.D. (1996) Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. Meat Science vol. 42, 4: 443-456.
- Gonzalez M., Bastidas B.E., Ruiz B., Godinez S., Panduro A. (2002) Funciones endocrinas de la célula adiposa. Revista de Endocrinología y Nutrición vol. 10, 3: 140-146.
- Hirata K., Dichek H.L., Cioffi J.A., Choi S.Y., Leeper N.J., Quintana L., Kronmal G.S., Cooper A.D., Quertermous T. (1999) Cloning of a unique lipase from endothelial cells extends the lipase gene family. Journal of Biological Chemistry vol. 274, 20: 14170–14175.
- Horcada A., Beriain M.J., Lizaso G., Chasco J., Gorraiz C., Mendizábal J.A.,
   Soret B., Mendizábal F.J., Purroy A. (1994) Efecto del genotipo (Latxa y Rasa Aragonesa) sobre la calidad de la carne. XIX Jornadas Científicas de la SEOC : 44-49.
- Horrocks L.A., Yeo Y.K. (1999) Health benefits of docosahexaenoic acid (DHA). Pharmacological Research vol. 40, 3: 211-225.
- Howe P., Meyer B., Record S., Baghurst K. (2005) Dietary intake of long-chain ω-3 polyunsaturated fatty acids: contribution of meat sources. Nutrition vol. 22, 1 : 1-7.
- Ingle D.L., D. E. Bauman D.E., Garrigus U.S. (1972) Lipogenesis in the Ruminant: in vitro Study of Tissue. The Journal of Nutrition vol. 102, 5: 609-616.
- **Jenkins T.C. (1993)** Lipid metabolism in the rumen. Journal of Dairy Science vol. 76, 12:3851-3863.
- Jerónimo E., Alves S.P., Prates J.A.M., Santos-Silva J., Bessa R.J.B. (2009) Effect of dietary replacement of sunflower oil with linseed oil on intramuscular fatty acids of lamb meat. Meat Science vol. 83, 3: 499-505.
- Jiménez J., Fonollá J., Boza J., Carrero J. (2005) Alimentos funcionales : Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. Nutrición Hospitalaria vol. 20, 1 : 63-69.
- Juaréz M., Horcada A., Alcalde M.J., Valera M., Polvillo O., Molina A. (2009)
   Meat and fat quality of unweaned lambs as affected by slaughter weight and breed.
   Meat Science vol. 83, 2: 308-313.



- Judd J.T., Clevidence B.A., Muesing R.A., Wittes J., Sunkin M.E., Podczasy J.J. (1994) Dietary *trans* fatty acids: effects on plasma lipids and lipoproteins of healthy men and women. The American Journal of Clinical Nutrition vol. 59: 861-868.
- Kasapidou E., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I., Wilkinson R.G., Sinclair L.A. (2008) Influence of vitamin E supplementation and basal diet on the vitamin E status, performance and tissue fatty acid concentration in lambs. Animal vol. 3, 04: 516-526.
- Kemp J.D., Mahyuddin M., Ely D.G., Fox J.D., Moody W.G. (1980) Subcutaneous fat of ewes had a higher percentage of oleic and total unsaturated fatty acids than did subcutaneous fat of wethers. Journal of Animal Science vol. 51, 2:321-330.
- **Kepler C.R., Hirons K.P., McNeill J.J., Tove S.B.** (1966) Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by Butyrivibrio fibrisolvens. The Journal of Biological Chemistry vol. 241, 6: 1350-1354.
- **Khanal R.C., Dhiman T.R. (2004)** Biosynthesis of conjugated linoleic acid (CLA): a review. Pakistan Journal of Nutrition vol. 3, 2: 72-81.
- Kitessa S.M., Williams A., Gulati S., Boghossian V., Reynolds J., Pearce K.L. (2009) Influence of duration of supplementation with ruminally protected linseed oil on the fatty acid composition of feedlot lambs. Animal Feed Science and Technology vol. 151, 3-4: 228-239.
- Kouba M., Enser M., Whittington F.M., Nute G.R., Wood J.D. (2003) Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. Journal of Animal Science vol. 81: 1967-1979.
- Lasunción M.A., Herrera E. (1994) Fisiopatología del tejido adiposo. In : Soriger Escofet F. La obesidad . Ediciones Díaz de Santos. Madrid. pp. 97-113.
- Lee Y. B., Kauffman R. G., Grummer R. H. (1973) Effect of Early Nutrition on the Development of Adipose Tissue in the Pig. II. Weight Constant Basis. Journal of Animal Science vol. 37: 1319-1325.
- Lehninger A.L. (2009) Principios de Bioquímica. Quinta Edición. Ediciones Omega,
   S.A. Barcelona. pp. 1296.
- Lehninger A.L. (1981) Bioquímica las bases moleculares de la estructura y función celular. Segunda edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. pp. 1117.



- Logani M.K., Davies R.E. (1980) Lipid oxidation: biologic effects and antioxidants: a review. Lipids vol. 15, 6: 485-495.
- Lourenço M., Van Ranst G., De Smet S., Raes K., Fievez V. (2007) Effect of grazing pastures with different botanical composition by lambs on rumen fatty acid metabolism and fatty acid pattern of longissimus muscle and subcutaneous fat. Animal vol. 1:537-545.
- McCann S.E., Muti P., Vito D., Edge S.B., Trevisan M., Freudenheim J.L. (2004)
   Dietary lignan intakes and risk of pre-and postmenopausal breast cancer. International Journal of Cancer vol. 111, 3: 440-443.
- Manso T., Bodas R., Castro T., Jimeno V., Mantecon A.R. (2009) Animal performance and fatty acid composition of lambs fed with different vegetable oils. Meat Science vol. 83, 3: 511-516.
- Martin D.B., Horning M.G., Vagelas P.R. (1961) Fatty acid synthesis in adipose tissue. The Journal of Biological Biochemistry vol. 19, 3:663-668.
- McGilvery W. (1977) Conceptos Bioquímicos. Ediciones Reverté. Barcelona. pp. 594.
- Mendizábal J.A., Arana A., Alzón M., Eguinoa P., Beriain M.J., Purroy A. (2002)
   Acumulación/Movilización de reservas grasas: especie caprina vs. especie ovina.

   XXVII Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia.
   Valencia. Libro de Actas: 180-185.
- **Murphy D.J. (2001)** Review: The biogénesis and functions of lipid bodies in animals, plants and microorganisms. Progress in lipid research vol. 40, 5: 325-438.
- Nuñez F.A. (2009) Fundamentos de Crecimiento y Evaluación Animal. Trafford Publishing. Victoria. pp.188.
- Nürnberg K., Wegner J., Ender K. (1998) Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. Livestock Production Science vol. 65, 2: 145-156.
- Organización Mundial de la Salud (2003) Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas : Informe de una consulta mixta de expertos. pp. 1-152.



- Palmquist D.L., McClure K.E., Parker C.F. (1977) Effect of Protected Saturated or Polyunsaturated Fat Fed to Pregnant and Lactating Ewes on Milk Composition, Lamb Plasma Fatty Acids and Growth. Journal of Animal Science vol. 45, 5: 1152-1159.
- **Pennington R.J.** (1952) The metabolism of short-chain fatty acids in the sheep. 1. Fatty acid utilization and ketone body production by rumen epithelium and other tissues. Biochemical Journal vol. 51, 2:251-258.
- Ponnampalam E.N., Hopkins D.L., Butler K.L., Dunshea F.R., Sinclair A.J., Warner R.D. (2009) Polyunsaturated fats in meat from Merino, first- and second-cross sheep slaughtered as yearlings. Meat Science vol. 83, 2:314-319.
- Raes K., De Smet S., Demeyer D. (2004) Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. Animal Feed Science and Technology vol. 113: 199–221.
- Reinhart H.M.L, G. D. Hill (1991) Agricultural Plants. Edición segunda. Cambridge University Press. Nueva York. pp. 387.
- Relling A.E., Mattioli G.A. (2002) Fisiología Digestiva y Metabólica de los Rumiantes. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). La Plata. pp. 1-72.
- Sauvant D., Bas P., Morand-Pehr P. (1979) Production de Chevreaux lourds : II-Influence du niveau d'ingestion de lait et du sevrage sur les performances et la composition du tissu adipeux. Annual Zootechnie vol. 28, 1 : 73-92.
- Scollan N.D., Choi N.-J., Kurt E., Fisher A.V., Enser M., Wood J.D. (2001) Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. Bristish Journal of Nutrition vol. 85: 115-124.
- Shrago E., Spennetta T., Gordon E. (1969) Fatty acid synthesis in human adipose tissue. Journal of Biological Chemistry vol. 244, 10 : 2761-2766.
- **Simopoulos A.P. (2002)** The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. Biomedicine & Pharmacotherapy vol. 56, 8: 365-379.
- Thibodeau Gary, Patton Kevin T. (1995) Anatomy & Physiology. Segunda edición.
   Mosby / Dogma libros, S.A. Madrid. pp. 962.



- Trayhurn P., Beattie J. H. (2001) Physiological role of adipose tissue: white adipose tissue as an endocrine and secretory organ. Proceedings of the Nutrition Society vol. 60: 329-339.
- Tricon S., Burdge G.C., Kew S., Banerjee T., Russell J.J., Jones E.L., Grimble R.F., Williams C.M., Yaqoob P., Calder P.C. (2004) Opposing effects of *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid on blood lipids in healthy humans. American Journal of Clinical Nutrition vol. 80, 3: 614-620.
- Vaisey-Genser M., Morris D.H. (2003) Introduction: History of the cultivation and uses of flaxseed. In: Alister D.M., Westcott N.D. Flax: The Genum Linum. Taylor & Francis Group. Londres. pp. 1-22
- Vasta V., Priolo A., Scerra M., Hallett K.G., Wood J.D., Doran O. (2009) Δ9 desaturase protein expression and fatty acid composition of longissimus dorsi muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. Meat Science vol. 82, 3:357-364.
- Vázquez-Vela M. E. F., Torres N., Tovar A. R. (2008) White adipose tissue as endocrine organ and its role in obesity. Archives of Medical Research vol. 39, 8:715-728.
- Vergara H., Fernández C., Gallego L. (1999) Efecto del genotipo (manchego, merino, ile de france x merino) sobre la calidad de la canal de corderos. Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal vol. 14, 123 : 5-14.
- Wachira A.M, Sinclair L.A., Wilkinson R.G., Enser M., Wood J.D., Fisher A.V. (2002) Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. British Journal of Nutrition vol. 88: 697-709.
- Wakil S. J., Stoops J. K., Joshi V. C. (1983) Fatty acid synthesis and its regulation. Annual Review of Biochemistry vol. 52, 1:537-579.
- Wheater P.R. (1993) Wheater's Functional Histology. Tercera edición. Churchill Livingstone. Madrid. pp. 407.
- Whittington F. M., Prescott N. J., Wood J. D., Enser M. (1986) The effect of dietary linoleic acid on the firmness of backfat in pigs of 85 kg live weight. Journal of the Science of Food and Agriculture vol.37, 8:753 761.



- Yokoyama M., Origasa H., Matsuzaki M., Matsuzawa Y., Saito Y., Ishikawa Y., Oikawa S., Sasaki J., Hishida H., Itakura H. (2007) Effects of eicosapentaenoic acid on major coronary events in hypercholesterolaemic patients (JELIS): a randomised open-label, blinded endpoint analysis. The Lancet vol. 369, 9567: 1090-1098.
- Ziegler J. H., Miller R. C., Stanislaw C. M., Sink J. D. (1967) Effect of roughage on the composition of ovine depot fats. Journal of Science vol. 26, 1:58-63.



## Páginas de internet consultadas :

International Union of Pure Applied Chemistry (IUPAC). Lipid Nomenclature. Disponible en : <a href="http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/">http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/</a> (18 junio 2009)

Valorex. Francia. Produits extrudés. Disponible en:

http://www.valorex.com/page-fr.htm (2009)

Food and Agriculture Organitation of the United Nations (FAO). Natural fibres : flax, disponible en:

http://www.naturalfibres2009.org/en/fibres/flax.html (2009)

Food and Agriculture Organitation of the United Nations (FAO). Data Sheet: *Linum usitatissimum*, disponible en:

http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=7336 (2009)

Food and Agricultural Organization Statistical (FAOSTAT). Disponible en:

 $\underline{http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=573\&lang=es\#ancor}\ (2009)$ 

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino (MARM). Clasificación de razas : Raza Navarra. Disponible en :

http://www.mapa.es/app/Zootecnia/Fichas.aspx?pag=Navarra (2010)

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino (MARM). Denominaciones de origen : Indicación Geográfica Protegida "Cordero de Navarra" o "Nafarroako Arkumea". Disponible en :

http://www.mapa.es/ga/alimentacion/pags/denominacion/carnes/pr corderonavarra.htm(2010)



## **ANEXO**

Anexo I : Fórmula, nombre común y nombre sistemático (IUPAC) de la clasificación de los ácidos grasos identificados en las muestra de carne de cordero.

Fórmula	Nombre común	Nombre sistemático (IUPAC)
C12:0	Ácido láurico	Ácido n-dodecanoico
C13:0		Ácido n-tridecanoico
iC14:0		12-methyl tridecanoico
C14:0	Ácido mirístico	Ácido n-tetradecanoico
iC15:0		13-methyl tetradecanoico
C14:1c9	ácido miristoleico	Ácido cis-9-tetredecenoico
aC15:0		12-methyl tetradecanoate
C15:0	ácido pentadecilico	n-pentadecanoico
iC16:0		14-methylpentadecanoate
C15:1		Ácido cis-10-pentadecenoico
aC16:0		13-methyl pentadecanoico
C16:0	Ácido palmítico	Ácido n-hexadecanoico
C16:1t9		Ácido trans-9-hexadecenoico
iC17:0		15-methyl hexadecanoico
C16:1c9	Ácido palmítico	Ácido cis-9-hexadecenoico
aC17:0		14-methyl hexadecanoate
Phytanic		
C17:0	Ácido margárico	Ácido n-heptadecanoico
C17:1c10		Ácido cis-10-heptadecenoico
C18:0	Ácido esteárico	Ácido n-octadecanoico
C18:1t9	Ácido elaídico	Ácido trans-9-octadecenoico
C18:1t11	Ácido vaccénico	Ácido trans-11-octadecenoico
C18:1c9	Ácido oleico	Ácido cis-9-octadecenoico
C18:1c11		Ácido cis-11-octadecenoico
C18:2n6t9t12		Ácido trans, trans-9,12-octadecadienoico
C18:2n6c9,t12		Ácido cis,trans-9,12-octadecadienoico
C18:2n6t9,c12		Ácido trans,cis-9,12-octadecadienoico
C18:2n6c9c12	Ácido linoleico (LA)	Ácido cis-cis-9,12-octadecadienoico
C18:3n3t9,t12,t15		Ácido trans,trans,trans-9,12,15-octadecatrienoico
C18:3n3 t9,t12,c15		Ácido trans,trans,cis-9,12,15-octadecatrienoico
C18:3n3 t9,c12,t15		Ácido trans,cis,trans-9,12,15-octadecatrienoico
C18:3n3 c9,t12,t15		Ácido cis,trans,trans-9,12,15-octadecatrienoico
C18:3n6	Ácido γ-linolénico (GLA)	Ácido cis,cis,cis-6,9,12-octadecatrienoico
c9,c12,t15 C18:3n3		Ácido cis,cis,trans-9,12,15-octadecatrienoico
C20:0	Ácido araquídico	Ácido n-icosanoico
C18:3n3c9,12,15	Ácido alfa linolenico (ALA)	Ácido cis,cis,cis-9,12,15-octadecatrienoico
9c,11tCLA	Ácido ruménico	Ácido cis,trans-9,11-octadecadienoico



10t12cCLA		Ácido trans,cis-10,12-octadecadienoico
C20:1c11	Ácido eicosenoico	Ácido cis-11-eicosenoico
9c11cCLA		Ácido cis,cis-9,11-octadecadienoico
9t11tCLA		Ácido trans,trans-9,11-octadecadienoico
C21:0		Ácido heneicosanoico
Furan		8-(5-hexyl-2-furyl)-octanoate
C20:2c11,14		Ácido cis,cis-11,14-eicosadienoico
C20:3n6c8,11,14	Ácido dihomo-gamma- linolénico	Ácido cis,cis,cis-8,11,14-eicosatrienoico
C20:4n6	Ácido araquídonico (AA)	Ácido cis,cis,cis,cis-5,8,11,14-icosatetraenoico
C22:1n9c13	Ácido erúcico	Ácido cis-13-docosenoico
C20:5n3c5,8,11,14,17	Ácido eicosapentanoico (EPA)	Ácido cis,cis,cis,cis,cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoico
C24:0	Ácido lignocérico	ácido n-tetracosanoico
C22:3n3c13,16,19		Ácido cis,cis,cis-13,16,19-docosatrienoico
C22:4n6c7,10,13,16	Ácido adrénico	Ácido cis,cis,cis,cis-7,10,13,16-docosatetraenoico
C24:1	Ácido nervónico	Ácido cis-15-tetracosenoico
C22:5n3c7,10,13,16,19	Ácido clupanodónico	Ácido cis,cis,cis,cis,cis-7,10,13,16,19-docosapentaenoico
C22:6n3c4,7,10,13,16,19	Ácido docosahexanoico(DHA)	Ácido cis,cis,cis,cis,cis,cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoico

