



Universidad de León
Facultad de Veterinaria
Departamento de Producción Animal

Factores genéticos y ambientales de los niveles de ácidos grasos en la leche de oveja de raza Churra

Eliana Pamela Antunes Barbosa

2009



**INFORME DEL DIRECTOR DE LA TESIS
(Art. 11.3 del R.D. 56/2005)**

Los Drs. D. **Luis Fernando de la Fuente Crespo** y D. **Fermín San Primitivo Tirados** como Directores de la Tesis Doctoral titulada “**Factores genéticos y ambientales de los niveles de ácidos grasos en la leche de oveja de raza Churra**” realizada por D. **Eliana Pamela Antunes Barbosa** en el Departamento de **Producción Animal**, informan favorablemente el depósito de la misma, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al art. 11.3 del R.D. 56/2005, en
León a 9 de **Febrero** de **2009**

Fdo.: Fermín San Primitivo Tirados

Fdo.: L. Fernando de la Fuente Crespo



Universidad de León

ADMISIÓN A TRÁMITE DEL DEPARTAMENTO
(Art. 11.3 del R.D. 56/2005 y
Norma 7ª de las Complementarias de la ULE)

El Departamento de Producción Animal, en su reunión celebrada el día 12 de Febrero de 2009, ha acordado dar su conformidad a la admisión a trámite de lectura de la Tesis Doctoral titulada “**Factores genéticos y ambientales de los niveles de ácidos grasos en la leche de oveja de raza Churra**”, dirigida por los Drs. **D. Luis Fernando de la Fuente Crespo** y **D. Fermín San Primitivo Tirados** y elaborada por **D. Eliana Pamela Antunes Barbosa**, y cuyo título en inglés es el siguiente “**Genetic and environmental factors influencing variation of fatty acids composition in Churra sheep milk**”.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al art. 11.3 del R.D. 56/2005, en León a 12 de Febrero de 2009.

La Secretaria,

Fdo.: María García Fernández

Vº Bº

El Director del Departamento,

Fdo.: Secundino López Puente

La autora de esta memoria ha sido beneficiaria de una beca de postgrado financiada por la Fundación para la Ciencia e la Tecnología (FCT) del Ministerio de la Ciencia, Tecnología e Ensino Superior del Gobierno de Portugal.

Las investigaciones de esta tesis han sido desarrolladas en la Universidad de León, dentro del proyecto AGL-2005-04321/GAN financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia así como por la Junta de Castilla y León, ayuda GR-43, dentro del programa de ayudas a grupos de excelencia de Castilla y León.

DEDICO

A mi Madre...por me enseñar el valor de la vida

A Mindo...., mi compañero, mi fuente espiritual

AGRADECIMIENTOS

Transcurridos cuatro años, tengo la certeza de que han sido para mi los más importantes, intensos y fascinantes de mi trayectoria profesional. En este tiempo he tenido la enorme suerte y satisfacción de conocer y de trabajar con personas que me han ayudado, de una forma o de otra, a la obtención de un trabajo de investigación, que se recoge en la presente memoria de tesis doctoral, y a las que les estoy profundamente agradecida.

*A mis directores de tesis, D. **Luis Fernando de la Fuente** y D. **Fermín San Primitivo**, por su intensa labor de colaboración, asesoramiento y aliento en el desarrollo de la investigación. Por los años de conocimiento y sabiduría empleados en mi formación. Por sus continuos consejos en el transcurso del trabajo, que ha sido para mi un autentico privilegio y honor tenerlos como directores, por la gran oportunidad que me han dado y la confianza que han depositado en mi en el desarrollo de esta tesis doctoral.*

*A **José María Fresno**, del Departamento de Higiene e Tecnología de los Alimentos, por la oportunidad que ha concedido, de formar parte de su equipo investigador y su dedicación personal a la corrección de este manuscrito.*

*A **Ricardo Colinas**, por haber trabajado conmigo todo el tiempo necesario con una entrega y dedicación absoluta, su inestimable amistad, además de su esfuerzo diario, por dedicarme su tiempo y conocimientos en mis primeros pasos en el trabajo del laboratorio, y su inagotable paciencia cuando mi testarudez hacía su aparición.*

*A todos los miembros y compañeros del **Departamento de Higiene y Tecnología de los Alimentos**, por su tolerancia y buen trato durante estos años de convivencia. Un obvio agradecimiento a Domingo, por su ayuda en el trabajo de laboratorio y el procesamiento de datos. A todos, gracias por su dedicación y por que mantengan el día a día en el departamento como un lugar de camaradería, alegre, distendido y bullicioso de trabajo.*

A mis compañeros becarios de la ULE, con quienes, en un objetivo común y una diversidad totalmente lógica, compartí momentos alegres y de todo el tipo, desde el inicio hasta el final, y que sin dudas nos hicieron crecer como personas.

*A los ganaderos de **ANCHE**, pues sin su total colaboración y disponibilidad, este trabajo no hubiera sido posible.*

*A los miembros del **CENSYRA**, por su generosidad, buen humor y su inestimable ayuda en la obtención de las muestras de leche, imprescindibles para la elaboración deste trabajo científico.*

*A los investigadores del **ICTAL**, por recibirme generosamente durante mi estancia en León, así como por su ayuda en las tareas laboratoriales.*

*Un agradecimiento especial, al **Doutor Nuno Brito**, por los buenos incentivos y aliento, que han servido para despertar en mí el “gusanito” de la investigación. A quien realmente admiro como persona y como profesional.*

*A la **Familia da Cunha Gómez**, personas que desde el primer momento me brindaron y me brindan todo el apoyo y cariño, han estado a mi lado cada día, abriendo la puerta de su hogar en León, como si fuera de la familia.*

*A **Mindo**, por ser tal y como es..., porque siempre ha confiado en mí, por su ánimo, su amor y su inestimable apoyo y comprensión. Gracias por compartir siempre a mi lado los momentos previos a esta tesis y durante el transcurso de la misma.*

*A **mis padres**, los que tienen todo el mérito de cada uno de mis logros de en la vida, especialmente a mi **Madre**, mi modelo de vida, por su ánimo y dedicación. Por enseñarme a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me ha dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran e infinita dosis de amor, sin pedir nunca nada en cambio. Gracias por su preocupación en mi felicidad, mi devenir profesional, alentadora y reconfortante en los momentos bajos y a los que es imposible pagar su cariño como se merece.*

Quiero agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta obra, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde lo más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

Muchas gracias a todos.

Índice de contenidos

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1. LA PRODUCCION LÁCTEA	5
1.1. La producción láctea ovina	6
2. LA RAZA CHURRA	11
3. LA LECHE DE OVEJA	15
3.1. Concepto e importancia	15
3.2. Composición de la leche de oveja	15
3.3. Factores de variación que afectan a la producción y composición de la leche ovina	18
A) Factores genéticos	19
B) Factores intrínsecos a la oveja	20
C) Factores extrínsecos a la oveja	23
4. LOS LIPIDOS DE LA LECHE	28
4.1. Generalidades	28
4.2. Clasificación de los lípidos	29
4.3. Los ácidos grasos	31
4.4. Nomenclatura Bioquímica e Isomería de los ácidos grasos	33
4.5. Clasificación de los ácidos grasos	37
A) Ácidos grasos saturados	38
B) Ácidos grasos insaturados	41
C) Ácidos grasos monoinsaturados	41
D) Ácidos grasos poliinsaturados	42
4.6. Ácidos grasos de interés en la alimentación humana	44
5 METABOLISMO DE LOS LÍPIDOS EN RUMIANTES	48
5.1. Fuentes lipídicas en la alimentación de los rumiantes	48
5.2. Metabolismo de los lípidos en el rúmen	48
A) Digestión ruminal de los lípidos alimentarios	48
B) Digestión post ruminal de los lípidos alimentarios	52
5.3. Metabolismo de los lípidos en la glándula mamaria	53

6 MEJORA GENÉTICA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE	56
6.1. Parámetros genéticos de los caracteres lecheros	57
A) Repetibilidad	57
B) Heredabilidad	58
C) Correlaciones genéticas	63
III. DISEÑO EXPERIMENTAL	69
1. EXPERIENCIA I: Estimación de la repetibilidad analítica del contenido en ácidos grasos en la leche	69
2. EXPERIENCIA II: Estimación de la repetibilidad temporal del contenido en ácidos grasos en la leche	70
3. EXPERIENCIA III: Análisis de la variabilidad genética y estimación de parámetros genéticos de la concentración de ácidos grasos en la leche	71
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	73
1. METODOLOGIA GENERAL	73
1.1. Toma de muestras de la leche	73
1.2. Metodología laboratorial	74
A) Extracción de la grasa de la leche	74
B) Metilación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos	76
C) Análisis cromatográfica de los ésteres metílicos de los ácidos grasos	78
2. EXPERIENCIA I	83
2.1. Material animal	83
2.2. Metodología estadística	83
3. EXPERIENCIA II	84
3.1. Material animal	84
3.2. Metodología estadística	84
4. EXPERIENCIA III	85
4.1. Población animal.....	85
4.2. Toma de muestras	86
4.3. Metodología estadística	87
A) Analisis de los factares de variación	87
B) Estimación de parámetros genéticos	88

V. RESULTADOS	91
1. EXPERIENCIA I: Estimación de la repetibilidad analítica del contenido en ácidos grasos en la leche	91
1.1. Estadística descriptiva.....	91
1.2. Repetibilidad analítica	94
2. EXPERIENCIA II: Estimación de la repetibilidad temporal del contenido en ácidos grasos en la leche	98
2.1. Estadística descriptiva.....	98
A) Caracteres de composición de la leche	98
B) Composición de los ácidos grasos de la leche	100
2.2. Análisis de varianza sobre la composición de los ácidos grasos de la leche	102
2.3. Repetibilidades temporales del contenido en ácidos grasos de la leche.....	105
3. EXPERIENCIA III: Análisis de la variabilidad genética y estimación de parámetros genéticos de la concentración de ácidos grasos en la leche	109
3.1. Estadística descriptiva.....	109
3.2. Correlaciones fenotípicas entre los ácidos grasos	116
3.3. Análisis de factores ambientales de varianza	122
A) Efecto de la fecha de control	125
B) Efecto de la fase de lactación	126
C) Efecto de la edad de la oveja	129
D) Efecto de la estación del año.	131
E) Efecto del rebaño	134
3.4. Repetibilidad y Heredabilidad	137
A) Caracteres de composición y cantidad de leche	137
B) Composición de los ácidos grasos en la leche	140
3.5. Correlaciones genéticas	143
A) Caracteres de composición y cantidad de leche	143
B) Composición de los ácidos grasos en la leche	143
VI. CONCLUSIONES	149
VII. RESUMEN	151
VIII. SUMMARY	155
VIII. BIBLIOGRAFÍA	159

Índice de tablas**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

<i>Tabla RB.1.1: Producción láctea mundial (Mt) por especie.</i>	5
<i>Tabla RB.1.2: Producción láctea mundial (Mt) por especie y continente.</i>	5
<i>Tabla RB.1.3: Producción láctea europea en diferentes especies (Mt.).</i>	6
<i>Tabla RB.1.4: Producción de quesos en España.....</i>	8
<i>Tabla. RB.1.5: Producción de quesos en España</i>	8
<i>Tabla RB.1.6: Distribución de explotaciones ganaderas y número de ovinos en Castilla</i>	9
<i>Tabla RB.3.1: Composición media de la leche (g/l) según especie.....</i>	16
<i>Tabla RB.3.2: Proporción de las diferentes proteínas de la leche de vaca y oveja.....</i>	17
<i>Tabla RB.4.1: Composición lipídica (%) de la leche de oveja.....</i>	30
<i>Tabla RB.4.2: Nomenclatura tradicional (Δ) y fisiológica (ω) de algunos ácidos grasos.....</i>	33
<i>Tabla RB.4.3: Ácidos grasos de mayor interés nutricional.....</i>	35
<i>Tabla RB.4.4: Ácidos grasos saturados más frecuentes en los diversos alimentos.....</i>	39
<i>Tabla RB.4.5: Valores medios del perfil de AG en distintas razas ovinas.....</i>	40
<i>Tabla RB.6.1. Repetibilidad y correlaciones fenotípicas entre los parámetros reológicos y las características físico-químicas de la leche de ovejas Lacaune.....</i>	58
<i>Tabla RB.6.2: Estimación de la heredabilidad para producción de leche, kg de grasa, kg de proteína y porcentajes de grasa y proteína en diferentes razas europeas de ovino de leche.....</i>	59
<i>Tabla RB.6.3. Estimación de heredabilidad para recuento de células somáticas obtenidas en diferentes razas europeas ovinas de leche.....</i>	60
<i>Tabla RB.6.4. Heredabilidades estimadas de la proporción de AG en diferentes publicaciones en ganado vacuno.....</i>	61
<i>Tabla RB.6.5. Heredabilidades (h^2) estimadas de los ácidos grasos individuales presentes en la carne ovina.....</i>	62

<i>Tabla RB.6.6. Correlaciones genéticas entre los ácidos grasos mayoritarios en la leche de vaca.....</i>	64
<i>Tabla RB.6.7. Correlaciones genéticas y fenotípicas entre los caracteres lecheros (leche (Kg/día); % Grasa, % Proteína, los grupos lipídicos (AGS, AGMI y AGPI) y los ácidos grasos de la leche (g/100g de leche).....</i>	
DISEÑO EXPERIMENTAL	65
<i>Tabla D.1. Distribución de las ovejas muestreadas por semental y ganadería.....</i>	72
MATERIAL Y MÉTODOS	
<i>Tabla M.1.1. Identificación de los picos cromatográficos de los esteres metílicos de los ácidos grasos en la leche de oveja.</i>	83
<i>Tabla M.3.1: Caracterización del muestreo de la Experiencia I.....</i>	85
<i>Tabla M.4.1: Identificación y ubicación de las ganaderías</i>	86
<i>Tabla. M.4.2: Distribución del número de muestras por semental y explotación.....</i>	87
RESULTADOS	
<i>Tabla R1.1. Estadística descriptiva de las 120 muestras analizadas para estimar la reproductibilidad del método de determinación del contenido en ácidos grasos de la leche.....</i>	93
<i>Tabla R1.2: Repetibilidad analítica (%) del contenido de ácidos grasos en la leche de oveja.....</i>	95
<i>Tabla R1.3: Estadística descriptiva dentro de cada muestra del AG C_{16:0} con 10 réplicas por muestra.....</i>	97
<i>Tabla R.1.4: Estadística descriptiva dentro de cada muestra del AG C_{18:0} con 10 réplicas por muestra.....</i>	97
<i>Tabla R.1.5: Estadística descriptiva dentro de cada muestra del AG C_{18:2,9c11t} con 10 réplicas por muestra.....</i>	97
<i>Tabla R.2.1: Estadística descriptiva (media aritmética, mínimo y máximo, desviación típica, coeficiente de variación y error estándar) de la composición de la leche.....</i>	99
<i>Tabla R.2.2: Estadística descriptiva (media aritmética, mínimo y máximo, desviación típica, coeficiente de variación) del contenido en ácidos grasos de la leche de oveja.....</i>	101

<i>Tabla R.2.3: Analisis de varianza para los caracteres de composición de la leche.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla R.2.4: Analisis de varianza para los caracteres de composición de los ácidos grasos de la leche.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla R.2.5: Comparación de medias según el efecto fase de lactación.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla R.2.6: Comparación de medias según el efecto fase de lactación.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla R.3.1: Estadística descriptiva (%) de la composición en ácidos grasos de la leche de oveja de raza Churra representativa de la comunidad de Castilla y León.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla R.3.2: Matriz de coeficientes de correlación de Pearson entre los principales ácidos grasos determinados en la grasa de la leche de oveja de raza Churra.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla R.3.3: Matriz de coeficientes de correlación de Pearson entre los ácidos grasos de la leche y las agrupaciones o índices de interés.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla R.3.4: Coeficientes de correlación entre la composición de ácidos grasos y los caracteres de composición y cantidad de la leche de ovejas de raza Churra.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla R.3.5: ANOVA de los caracteres concentración de ácidos grasos y las agrupaciones e índices.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla R.3.6: Porcentaje de varianza explicada por cada uno de los factores.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla R.3.7: Medias mínimo cuadráticas de los ácidos grasos de leche ovina, según la fase de lactación y Test de significación para la diferencia entre medias.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla R.3.8: Comparación de medias cuadráticas según el efecto edad de la oveja.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla R.3.9: Comparación de medias mínimo cuadráticas según el efecto estación del año sobre el contenido en ácidos grasos en la leche ovina.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla R.3.10: Medias mínimo cuadráticas de los ácidos grasos de leche ovina, según el rebaño.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla R.3.11: Heredabilidades y repetibilidades de los componentes (grasa, proteína) y la producción de leche (Ledía y Le120)</i>	<i>137</i>

<i>Tabla R.3.12: Heredabilidades y repetibilidades del contenido en ácidos grasos de la leche.....</i>	140
<i>TablaR.3.13: Correlaciones genéticas y correlaciones ambientales entre los caracteres de composición y cantidad de leche de oveja de raza Churra.....</i>	143
<i>Tabla R.3.14: Correlaciones genéticas y correlaciones ambientales entre los ácidos grasos individuales de la leche de oveja de raza Churra</i>	145
<i>TablaR.3.15: Correlaciones genéticas y correlaciones ambientales entre las agrupaciones y índices lipídicos de interés en la leche de oveja de raza Churra ..</i>	146
<i>Tabla R.3.16: Correlaciones genéticas entre los ácidos grasos y los caracteres de producción y composición de la leche.....</i>	147

Índice de ilustraciones

<i>Figura RB.2.1. La Raza Ovina Churra.....</i>	11
<i>Figura RB4.1. Cuadro esquemático de las reacciones de esterificación y saponificación que ocurren en algunos lípidos.....</i>	29
<i>Figura RB.4.2. Estructura general de las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos (saturado: ácido palmítico (C_{16:0}); monoinsaturado: ácido oleico (C_{18:1ω9}) y poliinsaturado: ácidos linoleico C_{18:2ω6}).....</i>	32
<i>Figura RB.4.3. Ilustración de la isomería de conjugación.....</i>	36
<i>Figura RB.4.4. Ilustración de la isomería cis (A) y trans (B) en la molécula de los ácidos grasos.....</i>	37
<i>Figura RB.4.5. Estructura de los isómeros del CLA trans-10, cis-12; cis-9, trans-11 y el ácido linoleico (cis-9, cis-12).....</i>	46
<i>Figura RB.5.1. Esquema de la lipólisis y biohidrogenación de los ácidos linoleico y linolénico.....</i>	50
<i>Figura RB.5.2. Biosíntesis de los ácidos grasos mediante elongasas y desaturasas.....</i>	52
<i>Figura RB.5.3. Síntesis “de novo” de los ácidos grasos y enzimas involucradas: ejemplo del acetato.....</i>	54
<i>Figura M.1.1. Estación Experimental de la ULE.....</i>	73
<i>Figura M.1.2. Bote estéril de recogida de muestras (50 ml)</i>	73
<i>Figura M.1.3. Refrigeración de las muestras.....</i>	73
<i>Figura M.1.4. Homogeneización de la muestra láctea.....</i>	74
<i>Figura M.1.5. Extracción de la grasa láctea: Leche añadida (A); El estándar interno (C_{11:0}) (B)</i>	75
<i>Figura M.1.6. Adición de los reactivos (A); Agitación de la muestra (B)</i>	75
<i>Figura M.1.7. Separación de las fases clorofórmica/acuosa (A); Grasa extraída (B, C).....</i>	75
<i>Figura M.1.8. Procedimiento analítico de la extracción de la grasa láctea</i>	76
<i>Figura M.1.9. Transesterificación alcalina (A); Agitación de los tubos (B); Adición de Na₂SO₄ (C); Dissolución de los ésteres metílicos (D)</i>	77
<i>Figura M.1.10. Filtrado de los ésteres metílicos de los ácidos grasos</i>	78
<i>Figura M.1.11. Procedimiento analítico de la metilación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos</i>	78
<i>Figura M.1.12. Cromatógrafo de gases (GC-MS).....</i>	79
<i>Figura M.1.13. Columna de separación.....</i>	79
<i>Figura M.1.14. Inyector automático.....</i>	79

<i>Figura M.1.15. Programación de temperaturas en la fase experimental I</i>	80
<i>Figura M.1.16. Cromatograma patrón de los ácidos grasos metilados</i>	82
<i>Figura M.2.1. Toma de muestras de leche de oveja Churra</i>	84

LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AA/ARA	Ácido araquidónico
AG	Ácido graso
AGs	Ácidos grasos
AGMI	Ácidos grasos monoinsaturados
AGPI	Ácidos grasos poliinsaturados
AGS–cc	Ácidos grasos saturados de cadena corta
AGS–cl	Ácidos grasos saturados de cadena larga
AGS–cm	Ácidos grasos saturados de cadena media
AGS	Ácidos grasos saturados
AL	Ácido linoleico
ALN	Ácido α -linolénico
ANCHE	Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra
a.p.	Efecto ambiental permanente
C _{10:0}	Ácido decanoico (cáprico)
C _{11:0}	Ácido triundecanoico (undecílico)
C _{12:0}	Ácido dodecanoico (laúrico)
C _{13:0}	Ácido tridecanoico (tridecílico)
C _{14:0}	Ácido tetradecanoico (mirístico)
C _{15:0}	Ácido pentadecanoico (pentadecílico)
C _{16:0}	Ácido hexadecanoico (palmítico)
C _{16:1}	Ácido palmitoleico
C _{17:0}	Ácido heptadecanoico (margárico)
C _{18:0}	Ácido octadecenoico (esteárico)
C _{18:1ω9}	Ácido octadecenoico (oleico)
C _{18:2}	Ácido octadecadienoico (linoleico)
C _{18:3ω3}	Ácido α -linolénico
C _{18:3ω6}	Ácido γ -linolénico
C _{20:0}	Ácido eicosanoico (araquídico)
C _{20:3}	Ácido eicosatrienoico
C _{20:4}	Ácido tetracosanoico (araquidónico)
C _{22:0}	Ácido docosanoico
C _{22:6}	Ácido eicohexanoico
C _{4:0}	Ácido butanoico (butírico)
C _{6:0}	Ácido hexanoico (caproico)
C _{8:0}	Ácido octanoico (caprílico)
CENSYRA	Centro Nacional de Selección y de Reproducción Animal
CG	Cantidad de grasa
CL	Cantidad de leche
CLA	Ácido linoleico conjugado
CLO	Controlo lechero oficial

Cn	Caseínas
CP	Cantidad de proteína
CV	Coefficiente de variación
DHA	Ácido docosahexaenoico
EE	Error estándar
EPA	Ácido eicosapentaenoico
Es	Contenido en extracto seco
EU	Unión Europea
FAO	Food and Agriculture Organization
FID	Detector de ionización de llama
GC	Cromatografía de gases
GC-MS	Cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masa
GLA	Ácido gammalinoleico
h ²	Heredabilidad
IGP	Indicación geográfica protegida
Ins.	Ácidos grasos insaturados
Ins./Sat	Relación entre la suma de ácidos grasos insaturados y saturados
Kg	Kilogramos
LA	Ácido linoleico
Le120	Producción de leche total estandarizada a 120 días
Ledía	Leche ordeñada en el día
Máx	Máximo
Mín	Mínimo
ml	Mililitro
Mt	Miles de toneladas
MUFA	Ácidos grasos monoinsaturados
Na ₂ SO ₄	Sulfato sódico anhidro
NaCl	Cloruro de sodio
NaOCH ₃	Metóxido sodico
NS	No significativo
OMS	Organización Mundial de la Salud
PFA	Producción Final Agraria
PUFA/AGPI	Ácidos grasos poliinsaturados
RA	Ácido ruménico
RCS	Recuento de células somáticas
Rd-m	Repetibilidad diaria - mañana
Rd-mt	Repetibilidad diaria mañana-tarde
Rd-t	Repetibilidad diaria - tarde
Rm	Repetibilidad mensual
Rs	Repetibilidad semanal
rpm	Rotaciones por minuto
Rs	Repetibilidad diaria - semanal
SAT	Ácidos grasos saturados

SD	Desviación estándar
Sig	Nivel de significación
Tm	Toneladas
μl	Microlitros
σ	Desviación típica
ω3	Ácido omega 3
ω6	Ácido omega 6
%G	Porcentaje de grasa
%P	Porcentaje de proteico

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La necesidad de atender la creciente demanda de alimentos para una población mundial en continua expansión, tiende a eclipsar la necesidad paralela de que la calidad de los alimentos responda a los requisitos nutricionales establecidos por la sociedad más exigente. En los países desarrollados, los nuevos conocimientos científicos y tecnológicos, junto con la transformación de los hábitos de consumo alimentario y la drástica modificación del papel que, en la dieta cotidiana, representa cada alimento, hacen que la calidad de cualquiera de los destinados al consumo humano dependa de sus beneficios potenciales para la salud, más allá de sus efectos nutricionales (Es, 1991).

Durante las primeras décadas del siglo XX, la ciencia de la nutrición humana descubrió que la leche contiene, en cantidades satisfactorias, la mayor parte de los nutrientes requeridos; siendo considerada un alimento casi perfecto en el mundo occidental (Taverna, 2002). Sin embargo, en la población actual, la leche como alimento presenta el gran inconveniente de su composición grasa, que contiene ácidos grasos saturados.

Las relaciones entre Nutrición y Salud Humana han sido estudiadas extensamente en los últimos años, como consecuencia de la creciente preocupación de los consumidores de los países occidentales por la seguridad alimentaria, pero también por las posibilidades de utilización de la dieta como vehículo para la ingestión de nutrientes que han demostrado poseer efectos favorables en la prevención y el control de enfermedades. Desde este punto de vista, la leche y los productos lácteos suministran el 25% y 60%, respectivamente, de los lípidos saturados consumidos por los europeos, lo que ha convertido la grasa de la leche en diana de muchas críticas. Durante la última década, sin embargo, esta idea negativa ha ido cambiando, después de descubrirse que algunos ácidos grasos saturados no son necesariamente aterogénicos, y que varios de naturaleza insaturada, poseen propiedades positivas para la salud humana (Chilliard *et al.*, 2006).

Dentro de este marco, los lípidos constituyen uno de los principios inmediatos más importantes de la nutrición, por su extraordinaria capacidad para satisfacer las demandas energéticas de nuestro organismo, por su función como componentes estructurales y moduladores de las membranas celulares, por su contribución como precursores de metabolitos biológicamente activos y por su importancia como

sustancias de reserva (Linscheer y Vergroesen, 1994). En la actualidad, la grasa de la dieta es motivo de preocupación para la mayor parte de la población en los países “desarrollados”, tanto por la cantidad ingerida y el aporte calórico de la misma, como por su capacidad e implicación en la salud (Mataix, 2002). El avance en el conocimiento de las propiedades y mecanismos de actuación de los ácidos grasos, permite diseñar dietas con proporciones saludables de lípidos, considerándose de vital importancia mantener un equilibrio óptimo entre las diferentes familias de ácidos grasos (saturados, monoinsaturados y poliinsaturados) y dentro de los poliinsaturados entre los ácidos grasos ω -6 y ω -3, equilibrios que suelen estar gravemente descompensados debido a los hábitos alimenticios actuales (FAO/OMS 1997 y 2003; Simolopoulos, 2003).

El ácido linoleico conjugado (CLA), es la denominación y sigla con que se conoce un grupo de isómeros de ácidos octadecadienoicos que poseen dobles enlaces *cis*, *trans* conjugados. A estos isómeros se les han adjudicado diversos efectos metabólicos de enorme interés.

El descubrimiento del CLA ha provocado la consolidación de numerosas líneas de investigación, que gravitan sobre la necesidad de obtener una mejora en la calidad de la leche (Offer *et al.*, 2001; Chilliard *et al.*, 2001b), modificando su perfil o contenido en ácidos grasos, para hacerla más saludable.

Desde este punto de vista el sector lácteo español, principalmente la producción de leche ovina, representa uno de los subsectores de alimentos con mayor importancia económica en determinados sectores rurales. Esta producción se enfoca en su mayor parte a efectivos de algunas razas autóctonas (Churra, Castellana, Manchega, y Latxa) y a otros cada vez más numerosos de razas extranjeras (Assaf, Lacaune).

La situación socioeconómica y el aumento de calidad de vida han hecho que, en los últimos años, se incremente la demanda de productos derivados de la leche de oveja, particularmente el queso. Sin embargo, de forma paralela, la grasa de origen animal está siendo rechazada por un sector de consumidores, debido al vínculo existente entre las grasas saturadas y las enfermedades cardiovasculares.

Todas estas razas ovinas tienen en marcha un programa de selección, con el objetivo de obtener animales más productores, que permitan al ganadero mayor

rentabilidad económica. La cantidad y calidad de la leche son los objetivos primarios de estos programas de selección, entendiendo por calidad de la leche su rendimiento quesero, es decir, la concentración grasa y proteica. Sin embargo, hasta ahora, nunca se ha considerado entre los objetivos de selección la composición grasa de la leche.

Estos importantes y contundentes antecedentes, posibilitan la formulación de una serie de hipótesis de trabajo, una de las cuales, contempla la posibilidad de modificar y orientar la composición grasa de la leche de oveja a través de la mejora genética por selección.

Conocer la composición en los ácidos grasos de la leche de nuestras razas ovinas autóctonas, es el primer paso. Obtener información sobre los parámetros genéticos (repetibilidad, heredabilidad y correlaciones) es imprescindible para conocer las posibilidades de efectuar modificaciones mediante selección genética. Ambos aspectos forman parte de los objetivos de este trabajo.

Esta tesis tiene como finalidad evaluar las posibilidades de mejorar la composición lipídica de la leche ovina por selección, así como la determinación de la metodología más adecuada para desarrollarla. Dada la vinculación del Departamento de Producción Animal y los directores de la misma, con el programa de selección de la raza Churra, es obviamente en dicha raza en la que se desarrollará esta investigación.

La pregunta a la que pretendemos dar respuesta en este trabajo es: ¿la composición de los ácidos grasos de la leche ovina es susceptible de ser modificada con las herramientas de la Genética Cuantitativa ?

Para ello, hemos planteado una investigación en tres fases:

a) Estimación de la repetibilidad analítica del contenido en ácidos grasos de la leche.

La cromatografía de gases es un método que, según numerosos estudios, resulta eficiente y versátil para nuestro propósito, por lo que ha sido el elegido. No obstante, hemos considerado necesario estimar su fiabilidad para cada uno de los ácidos grasos, especialmente los de mayor interés alimentario, a través de lo que denominados repetibilidad analítica, es decir la repetibilidad del análisis de replicas de la misma muestra de leche.

b) Estimación de la repetibilidad temporal del contenido en ácidos grasos de la leche

Aplicar un programa de selección para mejorar un carácter fenotípico, requiere su medición o valoración en cada uno de los animales de la población. En producción de leche se obtienen los diversos fenotipos mediante el control lechero oficial que se realiza con una periodicidad mensual a lo largo de la lactación. Los fenotipos de calidad de la leche se estiman en las muestras de leche obtenidas durante el control. Los valores suelen variar a lo largo de la lactación, por lo que es necesario conocer las variaciones temporales que se producen en la composición de ácidos grasos de la leche a través de la lactación.

Nos proponemos estimar la repetibilidad temporal: diaria, semanal y mensual de la composición en ácidos grasos de la leche, con la finalidad de fijar el número de controles necesarios para estimar el valor fenotípico de una oveja con el mínimo error posible.

c) Estimación de los parámetros genéticos del perfil de los ácidos grasos de la leche en la raza Churra.

Es el objetivo fundamental de la tesis, valorar las posibilidades de mejora por selección. Pretendemos estimar los parámetros genéticos siguientes: repetibilidad, heredabilidad y correlaciones genéticas. Para ello, será necesario el estudio de los factores de variación ambientales como: rebaño, época de parto, fase de lactación, número de parto, edad de la oveja, etc, así como los modelos genéticos que mejor describan todas las variables.

Estos objetivos se plantean sobre una población de ovejas de raza Churra que cuenta con control genealógico y de rendimientos y que nuestro grupo de investigación conoce desde hace años.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. LA PRODUCCION LACTEA.

Entre los alimentos de origen animal, la leche es sin duda el que presenta un volumen de producción y consumo más elevado, seguido de la carne. Según datos de la FAO (2007), la producción mundial de leche se sitúa en 671 millones de Tm anuales (considerando todas las especies explotadas). El 84 % de ese total está representado por la leche de vaca, a la que siguen en orden de importancia decreciente la leche de búfala (12,4%), la de cabra (2%), la de oveja (1,3%) y, por último, la de camella (0,2%) (Tabla RB.1.1)

Tabla RB.1.1. Producción láctea mundial por especie.

Producción	Millones de Toneladas
Leche de Vaca	560,50
Leche de Búfala	85,40
Leche de Cabra	14,80
Leche de Oveja	9,14
Leche de Camella	1,47
Producción Mundial	671,31

Fuente: Elaborado en base de datos de la FAO (2007)

La utilización de la leche varía según el país y su ámbito social, en función de la productividad del sector, la competitividad en las importaciones, la demanda, los hábitos de consumo, etc. La producción de leche por especie y continente se muestra en la Tabla RB.1.2 (FAO, 2007).

Tabla RB.1.2. Producción láctea mundial (Mt) por especie y continente.

Continente	Vaca	Oveja	Cabra	Camella	Búfala	Total
África	25.033	1.711	3.038	1.316	2.300	33.398
América	160.587	35.650	65.882	--	--	262.119
Asia	140.787	4.580	8.517	159.501	82.890	396.275
Oceanía	26.260	--	40.000	--	--	66.260
Europa	207.820	2.820	2.585	0.050	20.716	213.725

Fuente: Elaborado en base de datos de la FAO (2007). Mt, Miles de toneladas.

La producción de leche de las tres especies europeas más importantes: vaca, oveja y cabra, en diversos países europeos, se presenta en la Tabla RB.1.3.

Tabla RB.1.3. Producción láctea europea en diferentes especies (Mt).

País	Vaca	Oveja	Cabra
Alemania	27.900	--	35
España	6.716	360	488
Francia	23.705	254	590
Grecia	780	750	500
Italia	11.000	560	105
Polonia	11.800	660	22
Portugal	1.924	96	28
Reino Unido	14.450	--	--
Rusia	31.950	1	255
Total Europa	130.225	2.681	2.023

Fuente: Elaborado en base de datos de la FAO (2007)

La cuarta parte de la leche de oveja producida en el mundo se obtiene en cinco estados de la Unión Europea, siendo España el cuarto, con 360.000 Tm, que equivalen casi a un 20% de la producción total. Por delante están Italia y Grecia con el 35% y el 30% respectivamente y por detrás Francia, cuya producción supone el 11%, siendo el Estado de la Unión que mayores rendimientos por oveja ordeñada consigue, destacando la oveja de raza Lacaune, ubicada en "Le Rayon de Roquefort", de la que se obtiene el queso Roquefort. El sexto país productor es Portugal, con un 5%. Conviene no olvidar la importancia productiva de países próximos a nuestro entorno como son: Polonia, Rumanía y Turquía.

1.1. La producción láctea ovina.

Las ovejas y las cabras han acompañado al hombre desde los albores de la humanidad, proporcionándole abrigo y alimento, y constituyéndo un factor determinante en la estructura socioeconómica de los pueblos primitivos, para posteriormente convertirse en la base de la economía de países como España, Inglaterra, Australia, etc. Sin embargo, después de siglos de predominancia como factor

económico, los ovinos y los caprinos, han ido perdiendo gradualmente importancia en los diferentes países.

La cabaña española de ovino supera actualmente los 23 millones de cabezas, aproximadamente un 25% del total de la Unión Europea, que cuenta con 98 millones. Es la segunda cabaña más importante de Europa, ocupando el primer lugar el Reino Unido, con 29 millones de cabezas.

En general, la producción de ovino de leche se ha basado en razas autóctonas muy bien adaptadas a sus respectivas zonas de origen, generalmene desfavorecidas, aprovechando recursos naturales no utilizados por otras especies. Esto ha contribuido al mantenimiento del paisaje y del equilibrio ecológico, así como al mantenimiento de la población y la actividad económica en zonas rurales. Estos aspectos confieren al ganado ovino valores de tipo social y ecológico que son difícilmente valorables (Ugarte *et al.*, 2004).

La producción de leche ovina en España alcanza el 8% de la Producción Final Agraria y el 18% de la Producción Final Ganadera (Rodríguez, 2005) y se encuentra muy localizada en tres grandes áreas, cada una de ellas ligada a una raza autóctona: en primer lugar Castilla y León obtiene casi el 65% de la producción nacional (1.674.999 ovejas de ordeño), y tradicionalmente sus razas lecheras son la Churra y la Castellana; Castilla-La Mancha con el 20% (800.318 ejemplares) está muy ligada a la raza Manchega, el País Vasco y Navarra es la tercera zona en producción de leche, aunque sólo represente un 7%, atribuyéndose esta producción a las razas Latxa y Carranzana (MAPA, 2006).

En el año 2007, la producción de leche de oveja en España se sitúa en torno a las 430.000 toneladas, con una distribución por Comunidad Autónoma que se incluye en la Tabla RB.1.4.

Los 424 millones de litros de leche de oveja, se destinan casi en su totalidad a la elaboración de queso. En la tabla RB.1.5 se incluye la producción española de quesos.

Tabla RB.1.4. Producción de leche ovina por Comunidad Autónoma (Miles de litros).

Comunidad Autónoma	Leche de Oveja (Miles de litros)
Asturias	80
Cantabria	110
País Vasco	8.294
Navarra	7.647
La Rioja	487
Aragón	1.635
Baleares	81
Castilla y León	271.144
Madrid	13.648
Castilla la Mancha	107.997
Comunidad Valenciana	829
Extremadura	6.150
Andalucía	1.329
Canarias	4.838
TOTAL	424.332

Fuente: Anuario de Estadística Agraria de España (2007).

Tabla RB.1.5. Producción de quesos en España (Miles de kilos).

Tipo	Cantidad
Queso de vaca	68.700
Queso de oveja	16.800
Queso de cabra	8.100
Queso de mezcla	136.300
Queso fundido	39.100
TOTAL	269.000

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2005)

En Castilla y León, la distribución de las actividades agrícolas y ganaderas se encuentra prácticamente equilibrada. La producción vegetal constituye el 48,83% de la Producción Final Agraria (PFA), frente al 51,17% de la producción animal. En los últimos años, las producciones animales, superan a las vegetales, en su aportación a la PFA, siguiendo una tendencia generalizada en la UE, debido al incremento de las producciones animales intensivas. La comunidad de Castilla y León es la segunda

productora nacional de leche de vaca y la primera productora nacional de leche de oveja, lo que convierte al subsector lácteo en el más importante comparativamente.

La producción total de leche en Castilla y León se ha establecido en aproximadamente 270 millones de litros vendidos a la industria en 2006. La vocación tradicionalmente quesera de la leche de oveja se está confirmando en la medida en que, prácticamente la totalidad de la leche de oveja producida en Castilla y León, se destina a centrales lecheras o a industrias, para la elaboración de quesos y otros derivados lácteos.

Como hemos visto antes, Castilla y León se sitúa a la cabeza en producción de leche de oveja, con más de la mitad de la producción total. Además de las razas Churra y Castellana, en estas últimas décadas se ha introducido por cruzamiento la raza Assaf. Estos cruzamientos se deben al interés de los ganaderos por aumentar la productividad individual y utilizar sistemas intensivos de producción.

Tabla RB.1.6. Distribución de explotaciones ganaderas y número de ovinos en Castilla y León.

Provincia	Explotaciones de Ovinos	Número de Ovejas
Ávila	1.252	269.629
Burgos	1.465	321.728
León	2.602	621.030
Palencia	1.095	324.840
Salamanca	2.655	675.113
Segovia	1.109	436.330
Soria	1.031	365.118
Valladolid	1.123	466.805
Zamora	2.614	917.857
TOTAL	14.946	4.398.450

Fuente: Anuario de Estadística Agraria de España (2007).

Las provincias de Castilla y León con mayor número de explotaciones ganaderas ovinas son Salamanca, Zamora y León, con 2.655, 2.614 y 2.602 ganaderías respectivamente, mientras que las provincias con menor número de explotaciones son Soria y Palencia que no llegan a las 1.100 cada una. Con respecto al número de ovejas ocurre algo similar, ya que son Zamora y Salamanca las provincias con mayor censo (979.086 y 747.287, respectivamente). En el resto de las provincias, el número de

ovejas oscila entre las 300.000 y las 650.000, siendo Ávila la que menor cantidad tiene (310.229 ovejas).

2. LA RAZA CHURRA.

La Churra es una raza autóctona española, ubicada en la cuenca del río Duero (Comunidad de Castilla y León), de aptitud eminentemente lechera y que actualmente se explota con dos finalidades productivas “leche y cordero lechal” o solamente “cordero lechal” (Gutierrez, 2006).

La procedencia celta de la raza Churra explica su parecido con otras razas europeas explotadas en los dominios que tuvo este antiguo pueblo. La raza Churra (Figura RB.2.1), también llamada riberiega, por su adscripción a tierras bajas y por su sedentarismo, es de las más antiguas de nuestro país. Se la hace derivar del *Ovis Áries studery*, que tiene aportaciones del Urial (*Ovis aries vignei*) y Muflón (*Ovis aries musimon*). Para algunos autores ocupó toda la Península Ibérica, replegándose más tarde a la Submeseta Norte (Cuenca del Duero), mientras que otros opinan que se consolidó como raza en dicha submeseta para, con posterioridad, colonizar otras áreas peninsulares. En cualquiera de los dos casos, el núcleo fundamental radica desde muy antiguo en la Cuenca del Duero.



Figura RB.2.1. La raza ovina Churra.

Considerada una de las razas ovinas más primitivas de España, tiene su núcleo principal en las provincias de León, Burgos, Palencia, Valladolid y Zamora, aunque también se extiende por las provincias de Segovia, Soria y Salamanca. En la provincia

de Zamora, se distingue un ecotipo o variedad que se denomina “*Churra Sayaguesa*”. Hay efectivos en todas las provincias de Castilla y León. Excepcionalmente, encontramos dos variedades de esta raza, administrativamente consideradas razas, fuera de esta comunidad: una en el Valle de Tena (Pirineo aragonés) que es la “*Churra Tensina*” de la que quedan unos 3.000 ejemplares; la otra en el Valle del Guadalquivir, la “*Churra Lebrijana*”, de la que apenas quedan ejemplares.

Hasta finales del siglo XIX las ovejas churras se tenían en las explotaciones agrícolas para aprovechar los subproductos del campo, así como eriales y baldíos. Después de amamantar a su cría, se les ordeñaba para producir quesos artesanales. Es a partir de mediados del siglo XX cuando comienzan a realizarse los primeros estudios dirigidos a planificar la mejora de esta raza. En la actualidad la *Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra (ANCHE)*, es la entidad que gestiona el Libro Genealógico, promociona y fomenta la raza y organiza y desarrolla el programa de selección.

El último censo estimado contempla un total de 600.000 ejemplares, representando aproximadamente un 3,5 % del censo ovino nacional español. Según estimaciones de ANCHE, de las 600.000 ovejas, únicamente se consideran de aptitud láctea 300.000, de las cuales aproximadamente 35.000 se someten al control lechero oficial. Su evolución censal ha sido negativa en los últimos años, debido principalmente a la introducción de razas foráneas especializadas en la producción láctea. El resto del efectivo se explota para producir lechazos, sin ser ordeñadas.

La oveja de raza Churra, por lo tanto, es variable en cuanto a su aptitud, de forma que conviven rebaños que únicamente utilizan los animales para la producción de corderos lechales, con otros que podemos considerar de aptitud mixta y con otros especializados en la producción de leche (San Primitivo *et al.*, 2000). Además de la leche, base para la producción de un queso de alta calidad, la oveja Churra produce un cordeo lechal de gran calidad, que dispone de la figura de calidad Indicación geográfica protegida: “I.G.P. Lechazo de Castilla y León”. Se trata de animales de 10-12 kg de peso vivo, 25-35 días de vida, con rendimientos medios a la canal de 51-54 por 100, claramente identificados y controlados a través de los marchamos que los veedores del *Consejo Regulador de la I.G.P. Lechazo de Castilla y León* colocan en cada uno de los cuartos de las canales.

La oveja Churra, encuadrada en el grupo de razas ovinas de lana basta y cola fina, de temperamento vivo, resistente y andadora, es capaz de caminar largas distancias en busca de alimento en condiciones adversas. Su rusticidad y facilidad para soportar temperaturas extremas y estar perfectamente adaptada al medio en que se desenvuelve, conceden a la raza un inestimable valor para su explotación extensiva y semiintensiva.

En cuanto a la producción lechera, los rendimientos medios de las ovejas sometidas a control lechero oficial, se pueden cifrar en 129 litros en un período de lactación de 120 días. Sin embargo, se han registrado rendimientos medios de 246 litros por lactación en algunos rebaños y producciones individuales superiores a los 500 litros (Cappelletti, 1998).

La producción de lana en la raza Churra, hoy considerada un gasto más que un beneficio, debe considerarse como una producción marginal, pues representa menos del 2% del producto final (Merino, 2002).

El manejo reproductivo tradicional se caracterizaba por un parto anual, con cubriciones a partir de Julio para las ovejas adultas y uno a dos meses más tarde para las primerizas. Actualmente está más generalizado el sistema de 3 partos cada 2 años, teniendo lugar las parideras en los meses de Febrero-Marzo, Julio-Agosto y Noviembre-Diciembre.

La organización del programa de selección (San Primitivo *et al.*, 2000), iniciado en 1985, es responsabilidad de la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra (ANCHE). Las ganaderías adscritas al programa de selección, 67 rebaños, permiten probar unos 40 machos/año, para lo cual se realizan alrededor de 6.000 inseminaciones prueba. El objetivo principal es incrementar la producción de leche, aunque en la actualidad se está seleccionando para un índice en el que se contempla la producción de leche, su riqueza en proteína y la morfología mamaria y corporal.

Existen otros caracteres que están adquiriendo una importancia creciente. Entre ellos cabe destacar el recuento de células somáticas (RCS), como indicador de la selección contra mamitis (Gonzalo *et al.*, 1994; Ugarte *et al.*, 2004), la longevidad (El-Saied *et al.*, 2005 y 2006), así como los relacionados con la composición de la leche, concretamente el contenido en ácidos grasos (Barbosa, 2006). En cuanto al recuento de células somáticas, los trabajos realizados en la raza Churra (El-Saied *et al.*, 1998a,

1988b y 1999), han permitido demostrar que las heredabilidades estimadas son muy bajas ($h^2= 0,04$ y $h^2= 0,08$), por lo que no se espera una buena respuesta de la mejora genética sobre este carácter. En cuanto a la composición en ácidos grasos de la leche, no existe suficiente información hasta el momento, por cuya razón se ha emprendido este trabajo de tesis doctoral.

3. LA LECHE DE OVEJA.

3.1. Concepto e Importancia.

La leche ovina es un producto muy valorado, no sólo por sus cualidades gastronómicas y nutricionales, sino también por su alto contenido en grasa, proteína, extracto seco y rendimiento industrial. En efecto, la leche de oveja tiene características específicas, observables directamente, y otras que están relacionadas con sus particularidades físicas y químicas. La situación socioeconómica y el aumento de calidad de vida han hecho que se incremente la demanda de productos derivados de la leche de oveja, cuya evolución dependerá de su capacidad para competir con los derivados de leche de vaca.

La leche de oveja en general no se consume en fresco de forma líquida, sino como yogurt y queso, debido a su rendimiento en queso, que es del 20% (5:1), en comparación al 14% (7:1) de la leche de cabra y al 10% (10:1) de la leche de vaca. Por ello, prácticamente la totalidad de la leche de oveja se destina a la producción de queso, correspondiendo un 13% a la producción artesanal y un 87% a la industrial. El color de la leche de oveja es blanco nacarado y resulta más opaca que la de vaca y cabra, debido al bajo contenido de pigmentos en los glóbulos grasos (Buseti, 2004). Es más viscosa, característica ligada a la riqueza de sus componentes y de olor poco marcado, pero característico, debido a los ácidos grasos volátiles (Luquet *et al.*, 1991; Suarez, *et al.*, 2004).

3.2. Composición de la leche de oveja.

La leche de oveja es un producto con vocación tradicionalmente quesera, debido a su riqueza en los componentes principales (grasa y proteínas coagulables o caseínas) y, en consecuencia, en los componentes de mayor interés quesero (Barbano y Sherdon, 1984; Lawrence *et al.*, 1984; Marzialli y NG-Kwai-Hang, 1986).

Desde un punto de vista cualitativo, la leche de todas las especies tiene una composición semejante, aunque las proporciones de las diferentes fracciones varían entre especies (McDonald *et al.*, 1999). Al contrario de lo que ha ocurrido con la leche de vaca y de cabra, la leche ovina ha sido poco estudiada. Basándonos en las revisiones bibliográficas realizadas por Assenat (1991) y Nuñez *et al.* (1989), sobre la

composición y las propiedades de la leche de oveja, y de acuerdo con Delacroix-Buchet *et al.* (1994), parece correcto admitir que la leche de oveja es casi dos veces más rica, tanto en su contenido en grasa como en proteína total. En la Tabla RB.3.1 se puede apreciar la composición media normal de la leche de algunos animales domésticos, existiendo variaciones según la raza, la etapa de la lactación y el tipo de alimento, siendo la grasa el componente más variable de la leche. Se observa que los componentes más importantes son la grasa, la proteína bruta y la lactosa (excluyendo el agua). Además, se aprecia que, a pesar de lo variable de las diferentes fracciones entre especies, la lactosa es el constituyente más estable (Othmane, 2000).

Globalmente, podemos observar (Tabla RB.3.1) que ovejas, cabras y búfalas producen leche con características singulares, otorgadas por su composición diferencial con referencia a la leche de vaca. Otros estudios indican que las leches de cabra y de oveja tendrían propiedades benéficas para la salud, otorgadas por su contenido en minerales y vitaminas, y por la composición proteica, diferente a la leche de vaca (Dulce, 2005).

Tabla RB.3.1 – Composición media de la leche (g/l) según especie.

	Vaca	Oveja	Cabra	Búfala	Humana
Sólidos Totales	123	184	132	163	129
Materia Grasa	38	75	45	72	41
Proteína	33	56	33	38	13
Lactosa	47	44	44	44	72
Ceniza	7,5	8,7	8,0	8,3	2,0

Fuente: Othmane (2000); Santamaría (2002).

Las proteínas de la leche son probablemente las mejor caracterizadas de todas las proteínas de alimentos, constituyendo el soporte de su riqueza nutritiva (Tabla RB.3.2). Del total de nitrógeno de la leche, aproximadamente el 95 % se encuentra en forma de proteína, el resto está en forma de urea, creatina, glucosamina y amoníaco, que pasan de la sangre a la leche (McDonald *et al.*, 1999). Las proteínas de la leche pueden dividirse en dos grupos principales: las caseínas, que se encuentran en la leche principalmente en estado coloidal y las proteínas del suero que se encuentran disueltas.

Tabla RB.3.2. Proporción de las diferentes proteínas de la leche de vaca y oveja.

(% Total Proteínas)	Leche de Vaca	Leche de Oveja
Caseínas (Cn)	78 - 80	78 - 80
$\alpha_{s1} + \alpha_{s2}$ -Cn	28,4 – 30,8	37,3 – 44,6
β -Cn	26,9 – 28,4	22,2 – 28,4
κ -Cn	10 – 10,3	8,4 – 9,6
Proteínas séricas	20 – 22	20 – 22
α -lactalbúmina	4,2 – 4,6	1,9 – 2,3
β -lactoglobulina	10,5 – 12,0	14,1 – 15,3
Seroalbúmina	1,1 – 1,5	1,9 – 2,1
Immunoglobulinas	2,5 – 3,3	3,6 – 4,2

Fuente: Anifantakis (1986).

Las proteínas lácteas insolubles a pH 4,6 y 20° C de temperatura, se denominan caseínas (las fosfoproteínas), la fracción más importante cuali y cuantitativamente, por cuanto determina el rendimiento quesero de la leche de oveja y representa alrededor del 80 % de la proteína total. Al igual que la leche de vaca, la de oveja, posee un contenido en caseínas respecto a las proteínas totales que oscila entre el 78 y el 80% (Tabla RB.3.2).

Los glúcidos. La lactosa o "azúcar de la leche" es un disacárido compuesto por una molécula de D-Glucosa y otra de D-Galactosa, teniendo un grupo reductor activo, que se encuentra exclusivamente en la leche de los mamíferos. Este es un azúcar con bajo poder edulcorante, encontrándose en la leche en disolución molecular. Su contenido es muy poco variable (menor que los otros macrocomponentes). Se sintetiza en la ubre a partir de la glucosa sanguínea (McDonald *et al.*, 1999). Los carbohidratos constituyen una fracción importante de la materia seca de la leche y la más labil frente a la acción microbiana.

La materia grasa se encuentra en la leche en forma de una emulsión acuosa de pequeños glóbulos, cuyo diámetro promedio varía entre 0,1 y 22 micras, predominando en la leche de oveja y vaca las de mayor tamaño, mientras que en la de cabra existe un mayor porcentaje de glóbulos de menor tamaño, constituyendo esto una ventaja desde el

punto de vista nutricional, ya que es más fácilmente asimilable, pero un inconveniente a la hora de realizar manipulaciones tecnológicas de la misma.

La grasa se destaca entre los componentes como uno de los más variables en el transcurso de la lactancia y uno de los más importantes desde el punto de vista cuali y cuantitativo, debido a que confiere aromas y sabores característicos a los productos obtenidos, a su vez responsables en parte de su valor económico.

La mayoría de la grasa (98%) está constituida por triglicéridos (éster de glicerol y ácidos grasos). Los triglicéridos son bastante estables y sólo son atacados por enzimas. Actúan como solventes de otros componentes lipídicos y demás componentes de la grasa, que suponen un 0,5% del total de la materia grasa (esteroles, pigmentos, vitaminas, antioxidantes, etc.). En la leche se han identificado más de 150 ácidos grasos, muchos de los cuales son esenciales (Taverna *et al.*, 2001).

Los minerales representan una pequeña fracción de los sólidos de la leche. Su concentración es de aproximadamente 7 a 9 g/kg, es decir alrededor de un 0,7% de la materia seca de la leche (Taverna *et al.*, 2001). Esta fracción tiene una gran importancia nutricional y tecnológica, en particular por los aportes de calcio y fósforo (McDonald *et al.*, 1999).

Además de la importancia nutricional, **las vitaminas** juegan un papel relevante en la actividad metabólica de los microorganismos de la leche. La leche es una fuente importante de vitaminas para el hombre. Las hidrosolubles (vitaminas del grupo B y C) están presentes en la fase acuosa. La concentración es poco variable, ya que provienen de la biosíntesis de las bacterias del rumen. En cuanto a las liposolubles (A, E y D) están asociadas a la materia grasa y varían, entre otros aspectos, según el tipo de alimentación (Taverna *et al.*, 2001).

3.3. Factores de variación que afectan a la producción y la composición de la leche ovina.

Los factores que influyen, tanto sobre el nivel productivo, como sobre la composición de la leche, son numerosos y de naturaleza diferente. Como ya ha sido suficientemente demostrado (Bonaiti, 1985; Coulon *et al.*, 1998; Sutton, 1989; Coulon *et al.*, 1991, Hoden *et al.*, 1991, Kelsey *et al.*, 2003), influyen factores de naturaleza

genética (genotipo del animal), fisiológica (factores intrínsecos al animal) o ambiental (factores extrínsecos al animal, fundamentalmente la dieta).

A) Factores genéticos.

Las diferencias de índole genética entre ovejas pueden ser grandes por la existencia de variabilidad intra-racial e inter-racial (Barillet y Roussely, 1987; Nuñez *et al.*, 1989; Caja, 1994). Las variaciones inter-raciales para los caracteres de producción láctea quedan de manifiesto por las diferentes aptitudes productivas que presenta cada raza explotada por el hombre.

Además de las variaciones inter-raciales, la variabilidad intra-racial es también importante. Resulta principalmente de las interacciones genotipo x ambiente y, por otra parte, de los distintos niveles selectivos que presentan las subpoblaciones consideradas. A este respecto, varios autores destacan la importancia del porcentaje que explica el factor rebaño - solo o en interacción con el día del control o el año - a nivel de la varianza total de la producción lechera en diferentes razas como la Churra (Carriedo *et al.*, 1982; Baro *et al.*, 1994; Gonzalo *et al.*, 1994; Cappeletti, 1998), la Latxa (Gabiña *et al.*, 1993), la Manchega (Serrano *et al.*, 2002) y la Lacaune (Boyazoglu, 1963; Barillet y Boichard, 1994).

Boyazoglu (1963) estiman que las diferencias entre rebaños de ovejas Lacaune explican el 35 % de la varianza total y entre el 15 y el 20 % de la varianza genética de la producción lechera.

Estas variaciones genéticas para los componentes de la leche también han sido descritas en el perfil de ácidos grasos, tanto en ovejas y cabras (Talpur *et al.*, 2008), como en ganado vacuno (Kelly *et al.*, 1998a; 1998b; Kelsey *et al.* 2003; White *et al.*, 2001).

En el ganado ovino, un reciente estudio realizado por Talpur *et al.*, (2008), en el que compara dos razas de cabras y dos de ovejas entre sí, obtiene como resultado diferencias significativas en la concentración del CLA, isómero C_{18:2c9t11}, tanto entre las dos razas de ovejas (0,71 y 0,83) como entre las de cabras (0,42 y 0,54), además de una mayor concentración en las razas ovinas que en las caprinas.

B) Factores intrínsecos a la oveja.

Una de las principales causas de variabilidad de la producción y de la composición de la leche es la **fase de la lactación**, a veces confundido con el efecto de la estación (Othmane, 2000). En la especie ovina, la curva fisiológica de la producción lechera presenta una primera fase ascendente, con una duración variable de 2-4 semanas, hasta alcanzar la producción máxima. A partir de este punto, la producción de leche disminuye y el contenido proteico crece proporcionalmente pero a menor velocidad que el contenido en materia grasa (Carriedo y San Primitivo, 1979; Fuertes *et al.*, 1998).

Al inicio de la lactancia (los primeros días), es decir cuando se está produciendo calostro, se encuentran altas concentraciones de grasa (principal fuente de energía en las primeras etapas de vida del cordero), de proteína (especialmente de inmunoglobulinas, con un papel importante en la inmunidad pasiva de la cría) y de minerales (potasio, con efecto laxante sobre la cría). Posteriormente, la materia grasa disminuye hasta que la producción de leche es máxima y tiende a aumentar nuevamente en forma gradual y lenta conforme la lactancia progresa.

Además de los cambios en el porcentaje de materia grasa, se observa una variación del tipo de ácidos grasos que la componen, con predominio de los ácidos grasos de cadena corta e intermedia en la primera mitad de la lactancia (Morales *et al.*, 1999).

Diversos autores (Syrstad *et al.*, 1981, Piva *et al.*, 1993) han estudiado los efectos del periodo de lactación sobre los ácidos grasos de la leche y han demostrado que, en la mitad del periodo de lactación, la mayoría de los ácidos grasos de cadena corta tienen los valores máximos y la mayor parte de los ácidos grasos de cadena larga los valores mínimos (Santamaría, 2002).

La **edad de la oveja**, expresada habitualmente por el **número de partos** o de lactaciones, influye de forma notable en la producción de leche. En general, se considera que la producción de leche aumenta de la primera a la tercera o cuarta lactación y comienza a disminuir a partir de la sexta o séptima, Carriedo *et al.* (1982), Fuertes *et al.*, (1998), Benmederbel (1982) y Kalassakis *et al.* (1977). Leroy (1965),

partiendo del hecho de que la producción depende del crecimiento de los tejidos mamarios y que su potencial de crecimiento es proporcional al del conjunto del cuerpo, ha afirmado que la producción total de leche en el curso de una primera lactación, hubiera sido mayor si el parto se hubiera producido más tarde.

En concreto, en la raza Churra, Carriedo *et al.* (1982) encontraron un incremento cifrado en una media de 11,7 kg de leche entre la 1ª y la 3ª lactación y menor entre la 2ª y la 3ª. Othmane (2000) ha observado en la raza Churra un incremento en los contenidos en materia grasa, entre la 1ª y 3ª lactación.

Molina *et al.* (1999) observaron, en ovejas de raza Manchega, que la edad es un factor que influye en la producción total de leche. Comprobaron que en ovejas de entre 4 y 7 años de edad la producción láctea es superior (77,8 litros) a la registrada en las ovejas menores de 4 años (65,4 litros). Malher y Vrayla (1994), en ovejas de raza Rouge de L'Ouest, estudiaron la influencia de la edad, desde 1 hasta 6 años, sobre la producción total de leche. Observaron que las ovejas con edades de 2, 3 y 4 años tienen diferente producción láctea por lactación; la mayor producción se presenta a los 3 años de edad con 102,2 litros por lactación y la menor a 1 año de edad con 41,7 litros.

Ricordeau *et al.* (1969), han encontrado, en la raza Prealpes y en sus cruzamientos, una menor producción lechera en las ovejas que tienen su primera lactación al año de edad, al compararlas con las que tiene su primer parto a los dos años. Un efecto similar ha sido observado también por Gabiña *et al.* (1993) en la raza Latxa. Este hecho se puede explicar por las mayores necesidades de las corderas jóvenes, que deben atender a los requerimientos de la gestación y la lactación, mientras continúan con el proceso de crecimiento y desarrollo.

Se sabe, desde los trabajos de Poutous *et al.* (1965), Leroy (1965) y más recientemente Stanton *et al.* (1992) sobre la especie bovina, que las variaciones de la producción lechera y de la composición de la leche, con el número de lactación y la edad, se explican a la vez por las variaciones de peso, el incremento de los tejidos mamarios durante las primeras gestaciones y, a continuación, por el envejecimiento normal del tejido.

En relación con la composición de la leche, en el ganado vacuno, el porcentaje de materia grasa disminuye alrededor del 0,2% al pasar de 5 lactaciones. Se espera que

la producción total de grasa aumente conjuntamente con el aumento de la producción de leche, aunque a menudo se observa una caída en su porcentaje. La edad puede influir incluso en la distribución de CLA, en especial de su isómero cis-9-trans-11, más abundante a edades avanzadas (O'Shea *et al.*, 1998). La proteína disminuye en vacas de más de 3 años de edad, observándose un 0,4% menos de producción en vacas de más de 5 lactaciones. Esa caída parece ocurrir primeramente en la fracción de la caseína, aunque también se informa de una disminución en la fracción de la proteína del suero, Stanton *et al.* (1992).

El número de corderos nacidos y/o criados es sin duda uno de los factores que influyen sobre la producción de leche de las ovejas. Gallego *et al.* (1994) registraron un aumento del 71% en la producción de ovejas que criaban tres corderos frente a uno y del 23% respecto a dos corderos. Gardner y Hogue (1964) estudiaron la producción de leche en la F₁ de Rambouillet x Columbia y observaron que las ovejas que amamantaron a 2 crías produjeron más leche que las que amamantaban a 1 cría (2.33 kg/día v.g. 1,87 kg/día), siendo éstas diferencias significativas (P<0,05). En ovejas de raza Merina, analizaron la misma situación y encontraron diferencias significativas (P<0,05) a favor de las ovejas con 2 crías, respecto a las que tienen 1 sola cría, en la producción diaria de leche (996 ml/día y 926 ml/día, respectivamente). El mismo efecto se observó en ovejas de raza Dorset (952 ml/día y 985 ml/día) (Wolht *et al.* 1981); de raza Chios (140 ± 5 litros y 139 ± 5 litros) (Mavrogenis, 1982); de razas Suffolk, Texel y Flemish Milkshoop (Peeters *et al.*, 1992); Churra (Gonzalo *et al.* 1994; Carriedo *et al.*, 1982 y Fuertes *et al.*, 1998) y otras.

Estudios realizados por Fuertes *et al.* (1998), han demostrado que las ovejas sin cordero destetado producen la menor cantidad de leche diaria, pero la más abundante en grasa, proteínas, lactosa y extracto seco, además de células somáticas que, según los autores, se debe a un efecto de concentración.

En la interpretación fisiológica de la diferencia productiva a favor de los partos múltiples, se ha barajado la posibilidad de que, una mayor superficie placentaria originada en las gestaciones múltiples, conduzca a un nivel hormonal más elevado y, consecuentemente, a una ubre más desarrollada (Othmane, 2000). También se ha

especulado sobre la posibilidad de que el amamantamiento a dos o más crías conduzcan a dejar la ubre más vacía de leche, estimulando la producción.

C) Factores extrínsecos a la oveja.

Los factores ajenos a la oveja, que tienen gran influencia sobre los caracteres productivos, son aquellos que están asociados al sistema de producción y manejo, es decir, instalaciones, sanidad, ordeño, alimentación, etc. y que tienen una repercusión inmediata o temporal sobre la producción.

El ordeño. El intervalo entre ordeños, tiempo transcurrido entre dos ordeños sucesivos, tiene una influencia bien conocida. Un intervalo largo produce una cantidad de leche más elevada pero menos rica, sobre todo en materia grasa y en sólidos totales. Tras un intervalo corto, por el contrario, la leche es más rica y menos abundante (Alais, 1985; Barillet *et al.*, 1999; Fadel *et al.*, 1989; Caja, 1994; Fuertes *et al.*, 1998). Este efecto se observa entre los ordeños de mañana y de tarde, donde las diferencias son atribuidas exclusivamente al propio intervalo, más corto para el ordeño de la tarde (Caja, 1994). En efecto, cuando el intervalo entre ordeños se mantiene constante, se obtienen cantidades de leche equivalentes en la mañana y en la tarde, pero no obstante, la leche del ordeño de la tarde es más rica en materia grasa (Boyazoglu, 1963; Cottier y Liquiere, 1986).

En el caso concreto de la raza Churra, Fuertes *et al.* (1998), han demostrado que, para intervalos de 16 horas entre el ordeño de la tarde y el de la mañana (por tanto 8 horas entre los ordeños de la mañana y de la tarde), la producción de leche en el ordeño de la mañana fue el 64,3% de la producción diaria, mientras que el ordeño de la tarde únicamente produjo el 35,7%. En esta misma experiencia, la composición de la leche en el ordeño de la mañana (que produce la mayor cantidad), era más pobre en grasa (6,22 % frente a 8,58 %), pero más rica en proteína (5,99 % frente a 5,81 %) y más pobre en sólidos totales (18,52 % frente a 20,61 %).

Pasar de un sólo ordeño diario a dos, produce un incremento de la producción de leche, según las circunstancias genéticas y ambientales. Además de afectar a la cantidad, el número diario de ordeños afecta a la riqueza de la leche.

Cambiando la pauta de ordeño de dos a tres veces al día, aumenta la producción de leche notablemente. Los datos publicados muestran aumentos desde el 5% al 25%

más de leche por día. Además, la lactancia se hace más persistente y prolongada. Caja (1994) estima entre 7 y 14 litros de leche el incremento producido al pasar de 2 a 3 ordeños diarios. Las referencias disponibles son más escasas en lo que concierne a la composición de la leche en la especie ovina, pero parece que el paso a tres ordeños por día, está también acompañado por una ligera disminución del porcentaje de grasa (Morag, 1968). En relación con el efecto de la supresión de un ordeño (un ordeño al día), diversos autores están de acuerdo en admitir una pérdida importante de la producción lechera, estimada como media en un 19 %, y un ligero incremento de los contenidos en materias grasa y proteica.

La estación de parto. Tradicionalmente, la producción de leche de oveja ha estado muy estacionalizada. En la oveja, el periodo de paridera y la producción de leche que resulta, están también bajo la dependencia de las condiciones del pasto y de la alimentación disponible. Según la bibliografía, al igual que en la vaca, las ovejas que paren en invierno tienen los rendimientos medios más elevados (Gabiña *et al.*, 1993; Carta *et al.*, 1995; Cappio-Borlino *et al.*, 1997). En lo que concierne a las variaciones en la composición de la leche de oveja, bajo el efecto de la época de parto, las informaciones disponibles son poco numerosas. Algunos trabajos han permitido demostrar que las proporciones grasa y proteica (Feagan, 1979; Coulon *et al.*, 1991; Lawrence, 1993) y el extracto seco (Yadav *et al.*, 1989) son más bajas en verano que en invierno. Las desviaciones entre los meses extremos observadas por NG-Kwai-Hang *et al.* (1993) son del orden de 0,23 y 0,28 % para las caseínas y la proteína total, respectivamente. La concentración de proteína tiende a ser mayor en las lactancias comenzadas en primavera, con respecto a las de otoño, lo que se debería a la alta disponibilidad y calidad de las praderas durante dicha época. Producto de este mismo hecho, se observa paralelamente una disminución en el contenido graso (O'Brien *et al.*, 1997).

Los resultados de producción en función del mes de parto son, según Palacios *et al.* (2005), muy significativos en el caso de las ovejas Assaf. Las mayores producciones se obtienen en las ovejas que paren en los primeros meses del año y descienden en las ovejas que lo hacen en otoño, con pérdidas máximas, respecto al mejor mes, de 41 litros. Esta pauta se repite en ganado vacuno (Kaabi *et al.*, 1999), en ganado caprino malagueño (Castel *et al.*, 2005) y en ovino griego (Avdi y Chemineau, 1998). Sin

embargo, aunque también ocurre en el ganado de raza Castellana, lo hace en un margen mucho más pequeño con diferencias máximas de 15 litros (Palacios *et al.*, 2005).

Morales *et al.* (1999) describen un efecto de la estación del año sobre el porcentaje de grasa de la leche. En los meses de verano la leche presenta como término medio un 0,4% menos de grasa que en los meses de invierno. Además disminuye la proporción de ácido palmítico en relación al esteárico y los ácidos octadecanoicos.

La alimentación constituye la vía más efectiva y rápida para alterar la composición química de la leche. Desde hace mucho tiempo se conoce que, cambiando la relación entre forraje y concentrado de la dieta, se puede cambiar la concentración de grasa en un rango tan amplio como de un 2,0 a un 4,0% (Gallardo, 2006). Incluso la nutrición puede afectar a la propia composición de la grasa o de la proteína. Por ejemplo, la concentración total de proteína puede permanecer constante pero con alteraciones importantes en la relación entre la caseína (proteína verdadera) y el nitrógeno no-proteico. De la misma manera, pueden suceder cambios sustanciales en la composición de los ácidos grasos, sin ningún cambio aparente en el porcentaje total de grasa de la leche.

El tipo de forraje, su calidad (madurez, contenido de fibra) y el tamaño de partícula o de picado del forraje, tienen gran influencia sobre el porcentaje de grasa de la leche. El forraje finamente molido produce un cambio en los productos de fermentación ruminal que trataremos más adelante. En la mayoría de las raciones basadas en forrajes y sin suplementación lipídica, la concentración de los ácidos linoleico y linolénico se encuentra normalmente en niveles de un 2-3 y 0,5-1% del total de AG, respectivamente (Chilliard *et al.*, 2000). El aporte de aceites poliinsaturados y semillas oleaginosas enteras ricas en linoleico, a niveles prácticos de incorporación, permite incrementar la concentración de ácido linoleico en la leche sólo en 1-2 unidades porcentuales.

Análogamente, la inclusión de semilla de lino (51% de C_{18:3} sobre AG totales) no permite aumentar la concentración de ácido linoleico en leche, más que en una pequeña proporción. De acuerdo con lo expuesto en apartados anteriores, las concentraciones de CLA y ácido vaccénico en leche, se pueden incrementar a través de la manipulación de una serie de factores relacionados con la hidrogenación ruminal de

los AG insaturados del alimento, tales como su grado de insaturación o su grado de protección frente a la degradación microbiana (Beorlegui, 2004).

Por otra parte, el estado de madurez del forraje es un factor importante para lograr un nivel adecuado de fibra en la dieta, ya sea para mantener o para incrementar el contenido de grasa láctea, Chilliard *et al.* (2000a).

Numerosos estudios han demostrado un incremento en los contenidos de CLA en la leche y la carne de rumiantes con una alimentación basada en pastos (Dhiman *et al.*, 2000; Beorlegui, 2004). Parodi (2003) indicó que, como valor medio entre diferentes tipos de raciones, la concentración de CLA en la leche de oveja fluctúa entre el 1,2 y el 3% del total de ácidos grasos, dependiendo del tipo de alimentación, y que en la leche de cabra esta concentración varía entre el 0,58 y valores superiores al 2%. Los resultados obtenidos por Nudda *et al.* (2005), indicaron que esta concentración fue de 2,5% cuando las ovejas se alimentaron con pasto fresco de primavera, incluso del 3,9% utilizando un 6% de aceite de girasol en la ración (Hervás *et al.*, 2006).

La reducción del nivel de grasa, a partir del uso de raciones de bajo contenido en fibra, resulta problemática por sus efectos negativos paralelos sobre la incidencia de acidosis ruminal, cetosis, etc. Sin embargo, según Beorlegui (2004), una disminución del nivel de grasa, a través del suministro de suplementos concentrados en grasa insaturada, podría tener efectos positivos, sin afectar a la salud de los animales. Así, el uso (20-50g/d) de suplementos de *trans*-10, *cis*-12 CLA, tiende a reducir la producción de grasa láctea (entre un 7 y un 25%).

El contenido de AG de cadena larga ($>C_{18:0}$) en la leche, está relacionado directamente con su concentración en plasma y, por lo tanto, con su inclusión en la ración o con la movilización de reservas corporales de lípidos. En el caso del ácido esteárico, debe tenerse en cuenta que la hidrogenación en el rumen no siempre es completa y que, además, una parte (alrededor del 40%) del que llega a la glándula mamaria es desaturado a *cis*-9 $C_{18:1}$ (Chilliard *et al.*, 2001). Como consecuencia, la inclusión de semilla de algodón en la ración, tiende a incrementar la proporción de esteárico/oleico (Gulati *et al.*, 1997).

Factores relacionados con el procesamiento de los productos. El procesamiento de los productos parece presentar efectos pequeños sobre el contenido en

AG y en especial de CLA (Shanta *et al.*, 1995). Es probable que los cultivos utilizados como “starter” contengan enzimas que pueden isomerizar el ácido linoleico en CLA. Así, se ha demostrado que algunas especies bacterianas, utilizadas para hacer queso u otros productos lácteos fermentados, pueden transformar ácido linoleico libre en CLA (Lin, 2001). No obstante, en general se asume que la variación en el contenido de AG, durante el procesado de la leche bovina, no presenta una gran importancia, en relación con la variación atribuible a factores de la dieta u otros factores fisiológicos individuales (Khanal & Olson, 2004).

Por lo tanto, podemos concluir que, aunque la dieta es uno de los principales determinantes del contenido en CLA, las diferencias entre individuos parecen tener un efecto sustancial (Peterson *et al.*, 2002). Como norma general, se considera que el contenido en CLA de la grasa de alimentos obtenidos de los rumiantes dependerá de la proporción ruminal de ácido vaccénico y de la actividad tisular de la enzima Δ^9 -desaturasa (Khanal & Olson, 2004).

4. LOS LÍPIDOS DE LA LECHE.

4.1. Generalidades.

La importancia de los lípidos en la nutrición y el desarrollo humano es reconocida desde hace décadas. Además, tienen gran influencia en las propiedades organolépticas de los alimentos, a través de las características que imprimen a nivel de aroma, textura y viscosidad. Las grasas de la dieta han recibido más atención de los profesionales de la salud y del público en general, en estos últimos años, que cualquier otro nutriente (Mata *et al.*, 2004). Según Simopoulos *et al.* (1999), la asociación dieta-salud se define por la relación entre el valor lipídico de la nutrición y las enfermedades cardiovasculares (ECV), primera causa de mortalidad en el mundo desarrollado en estos últimos años. En este contexto, los lípidos constituyen actualmente el aspecto más importante de muchos productos alimentarios.

El término lípido, proviene de la palabra griega “*lipos*” que significa grasa (Monsón, 2001). Los lípidos son un grupo de compuestos, generalmente constituidos por carbono, hidrogeno y oxígeno, que integran cadenas hidrocarbonadas, alifáticas o aromáticas, y que en ocasiones contienen fósforo o nitrógeno, presentando la propiedad común de ser relativamente insolubles en agua y solubles en solventes no polares. Los lípidos son constituyentes importantes de la estructura de las membranas celulares, cumplen funciones energéticas y de reserva metabólica y forman la estructura básica de algunas hormonas y de las sales biliares. Además, algunos lípidos tienen el carácter de esenciales, debido a que no pueden ser sintetizados a partir de estructuras precursoras. Según Hara *et al.* (1987), los lípidos son un grupo complejo de sustancias que incluyen ácidos grasos de cadena larga y sus derivados, así como sustancias relacionadas biosintéticamente o funcionalmente con estos compuestos, como por ejemplo esteroides y esteroides, carotenoides y otros isoprenóides.

Según Halpern (1997), los lípidos pueden definirse como estructuras resultantes de la conexión de ácidos grasos con alcoholes, generalmente por enlaces éster, que se establecen entre el grupo COOH del ácido graso y un grupo OH de un alcohol (glicerol). La Figura RB.4.1, esquematiza algunas reacciones que pueden sufrir los lípidos y los ácidos grasos en particular.

Una característica básica de los lípidos, de la que derivan sus principales propiedades biológicas, es la hidrofobicidad. La baja solubilidad de los lípidos se debe a que su estructura química es fundamentalmente hidrocarbonada (alifática, alicíclica o aromática), con gran cantidad de enlaces C-H y C-C (Figura RB.4.1).

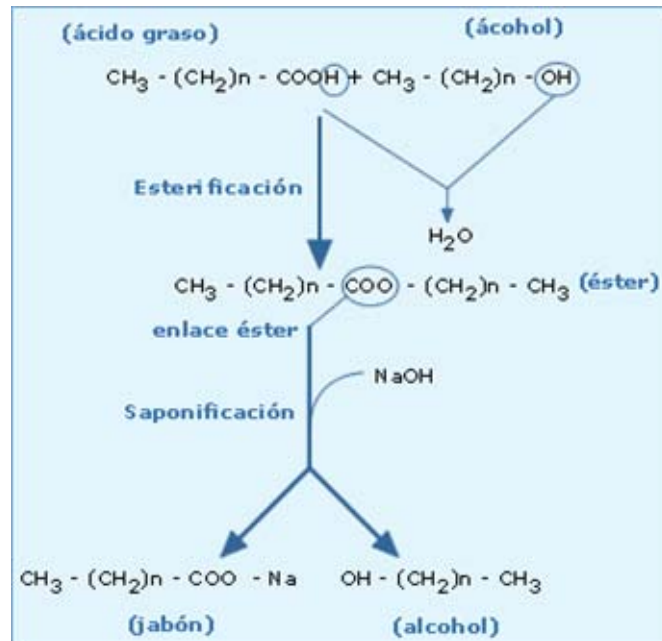


Figura RB.4.1 – Cuadro esquemático de las reacciones de esterificación y saponificación que ocurren en algunos lípidos.
Fuente: Adaptado de Seager *et al.* (2000).

Los lípidos constituyen el componente más variable de la leche. Su concentración y composición varía entre individuos y entre especies (Hamosh *et al.*, 1984; Allen *et al.*, 1991; Neville y Picciano, 1997). La fracción lipídica de la leche se encuentra contenida en los glóbulos de grasa, formados por membranas tridimensionales compuestas mayoritariamente por triglicéridos (Tabla RB.4.1) (Fox *et al.*, 2000).

4.2. Clasificación de los Lípidos.

Debido a que el número de sustancias consideradas como lípidos es muy grande, la manera de clasificarlas puede resultar difícil. No obstante, podemos clasificarlos en **Saponificables** (poseen ácidos grasos) e **Insaponificables** (no poseen ácidos grasos).

Los saponificables, a su vez, pueden ser **Simple**s (únicamente están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno) y **Complejos** (además de C, H y O, pueden poseer nitrógeno, fósforo, azufre o un glúcido). Los lípidos saponificables simples pueden ser **Acilglicéridos**, también denominados triglicéridos, (formados por la esterificación de tres moléculas de ácidos grasos, con una molécula de glicerina), o **Céridos** (ésteres de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes también de cadena larga). Los lípidos saponificables complejos, denominados también lípidos de membrana, por ser los principales componentes de la doble capa lipídica de la membrana, pueden ser **Fosfolípidos** (presentan un ácido ortofosfórico en su zona polar) o **Glucolípidos** (incorporan un glúcido en su estructura). Los lípidos insaponificables, de menor interés en nuestro caso, pueden ser **Terpenos** (moléculas lineales o cíclicas que cumplen funciones muy variadas, formando parte de esencias y pigmentos vegetales y de vitaminas), **Esteroides** (derivados del esterano, que pueden ser esteroides como el colesterol o la vitamina D y también hormonas esteroideas como las suprarrenales o las sexuales) y **Prostaglandinas** (lípidos constituidos por 20 átomos de carbono que forman un anillo ciclopentano y dos cadenas alifáticas).

Tabla RB.4.1. Composición lipídica (%) de la leche de oveja.

Fracción Lipídica	% Total de Lípidos
Triacilglicéridos	97 – 99
Diacilglicéridos	1,3 – 1,6
Monoacilglicéridos	0,02 – 0,04
Ácidos grasos libres	0,1 – 0,4
Fosfolípidos	0,8 – 1,0
Esfingolípidos	0,06
Esteroides	0,2 – 0,4

Fuente: Adaptado de Fox *et al.* (2000).

Las grasas (cuando su estado a la temperatura ambiente es sólido) o los aceites (cuando están en estado líquido) más frecuentes, son una mezcla de triacilglicéridos o triglicéridos con cantidades menores de otros lípidos (FAO/OMS, 1997).

En los alimentos y en el cuerpo humano, existen mayoritariamente cuatro clases de lípidos; los triglicéridos, los fosfolípidos, los glucolípidos y los ésteres de colesterol. Desde un punto de vista alimentario, los componentes lipídicos cualitativamente y

cuantitativamente más importantes y característicos son los triglicéridos o triacilgliceroles (Murray *et al.*, 2001).

4.3. Los Ácidos Grasos.

Dentro de la gran diversidad estructural que caracteriza a los lípidos, los ácidos grasos (AG) son quizás las estructuras de mayor relevancia. Los presentes en la leche son ácidos orgánicos de cadena larga, que poseen generalmente hasta 24 átomos de carbono, tienen un solo grupo carboxilo y una cadena hidrocarbonada apolar, que les confiere su naturaleza de insolubles en agua.

Según Monsón (2001), la denominación “ácido graso”, es fundamentalmente debida al producto resultante de la hidrólisis de las grasas, siendo caracterizados como ácidos, por su capacidad para formar sales, al reaccionar con las bases.

Los ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados, con un número par o impar de átomos de carbono y tienen como características adicionales una cadena hidrocarbonada de estructura muy variada (lineal, ramificada, alicíclica) (Partidário, 1998), con una agrupación ácida (COOH) en un extremo.

La mayoría de los ácidos grasos poseen un número par de átomos de carbono; ello se debe a que su síntesis biológica tiene lugar mediante la adición sucesiva de unidades de dos átomos de carbono. Sin embargo, también existen ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono, que probablemente derivan de la metilación de un ácido graso de cadena par. Los ácidos grasos que poseen 16 y 18 átomos de carbono son los más abundantes en la leche.

Las propiedades químicas de los ácidos grasos derivan, por una parte, de la presencia de un grupo carboxilo y, por otra, de la existencia de una cadena hidrocarbonada. La coexistencia de ambos componentes en la misma molécula convierte a los ácidos grasos en moléculas débilmente anfipáticas (el grupo COOH es hidrofílico y la cadena hidrocarbonada es hidrofóbica).

El carácter anfipático es tanto mayor cuanto menor es la longitud de la cadena hidrocarbonada. La solubilidad en agua decrece a medida que aumenta la longitud de la cadena.

En la actualidad, han sido ya encontrados aproximadamente 400 ácidos grasos diferentes (Bauman *et al.*, 2006), procedentes de varias fuentes lipídicas: animal, vegetal y microbiana. Según Hermansen (1995), este número sería aún más alto, pudiendo llegar hasta 500, de los cuales solo de 15 a 20 han sido estudiados. En cuanto a los ácidos grasos que comúnmente se localizan en los alimentos, su número se reduce considerablemente y solo resaltan por su importancia los que se describen más adelante.

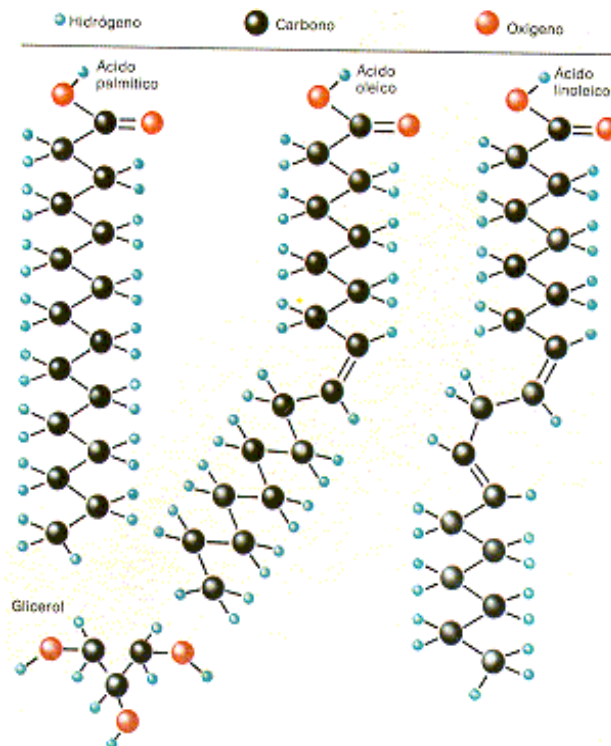


Figura RB.4.2 . Estructura general de las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos (saturado: ácido palmítico ($C_{16:0}$); monoinsaturado: ácido oleico ($C_{18:1\omega9}$) y poliinsaturado: ácido linoleico ($C_{18:2\omega6}$)).

Fuente: Monsón (2001).

En la ilustración (Figura RB.4.2), se representa la estructura general de tres ácidos grasos, uno de cada clase: saturado, monoinsaturado y poliinsaturado.

Los ácidos grasos de la leche aparecen en forma de triglicéridos, que representan entre el 95 y el 98% del total de la grasa de la leche y la mayoría de ellos tienen AG que pueden contener de 4 a 18 átomos de carbono.

4.4. Nomenclatura bioquímica e Isomería de los ácidos grasos.

La nomenclatura sistemática de uso más frecuente para los ácidos carboxílicos, que es la utilizada por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), emplea el nombre del alcano que corresponde a la cadena de átomos de carbono, incluido el grupo carboxílico. La nomenclatura del alcano utiliza un prefijo griego para indicar el número de carbonos que contiene. En el caso de los ácidos grasos, se añade el sufijo “anoico” y se antepone la palabra “ácido”. De esta forma, un ácido graso de 6 átomos de carbono se denominará ácido hexanoico y uno de 12 carbonos ácido dodecanoico. Cuando existen dobles enlaces, la nomenclatura sistemática tradicional cambia el sufijo a “enoico” e indica la posición de los dobles enlaces, mediante el número del carbono en el que comienza cada doble enlace, contando a partir del carbono que contiene el grupo carboxilo, que será el carbono 1. De esta forma, el ácido linoleico, que tiene un doble enlace entre los carbonos 9 y 10 y otro entre los carbonos 12 y 13, se denominará sistemáticamente ácido 9, 12 octadecenoico.

Mataix *et al.* (2004), utiliza una variante de esta nomenclatura, incluyendo entre prefijo y sufijo una indicación del número de dobles enlaces que contiene y añadiendo la isomeria *cis-trans*. De esta forma, el ácido linoleico, que tiene un doble enlace entre los carbonos 9 y 10 y otro entre los carbonos 12 y 13, ambos en posición *cis*, se denominaría ácido 9 *cis*, 12 *cis* octadecadienoico.

Tabla RB.4.2. Nomenclatura tradicional (Δ) y fisiológica (ω) de algunos ácidos grasos.

Nombre Común	Nombre IUPAC	Abreviaturas	
		Δ	Ω
Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	16:0	16:0
Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	18:0	18:0
Ácido oleico	Ácido 9- octadecenoico	18:1 Δ^9	18:1 ω^9
Ácido linoleico	Ácido 9,12- octadecenoico	18:2 $\Delta^{9,12}$	18:2 ω^6
Ácido linolénico	Ácido 9,12,15- octadecenoico	18:2 $\Delta^{9,12,15}$	18:2 ω^3

Fuente: Sevilla (2005).

Esta nomenclatura puede abreviarse siguiendo una norma sencilla. Se utiliza la letra C, seguida de un número que indica los átomos de carbono del ácido graso, seguido de dos puntos y un número que indica el de dobles enlaces que contiene, 0 si se

trata de un ácido graso saturado, 1 si es monoinsaturado, etc. A continuación, se incluye la letra griega Δ , que indica que el carbono número 1 (o también α) es el que contiene el grupo carboxilo y como superíndices los números de los carbonos donde se inician cada uno de los dobles enlaces (ver Tabla RB.4.2). Con independencia del número de átomos de carbono del ácido graso, el último carbono, comenzando a contar por el que contiene el grupo carboxilo, se denomina ω .

En las ramas científicas, que consideran los ácidos grasos desde el punto de vista biológico y no puramente químico, atendiendo a razones fisiológicas, se utiliza otra nomenclatura abreviada, en la cuál la posición del doble enlace se indica con respecto al carbono ω (a veces denominado n). De ahí derivan las denominaciones ω -3, ω -6, etc. (Mataix, 2002; Calvo, 2006). Como ejemplo, el ácido α -linolénico se denomina como $C_{18:3 \omega-3}$ o $C_{18:3 n-3}$.

La configuración geométrica de dobles enlaces suele indicarse con el término *cis* (en este lado) o *trans* (al otro lado). Los prefijos *cis* y *trans* pueden abreviarse como c y t en las fórmulas estructurales.

Los ácidos grasos presentes en las grasas y aceites alimentarios, se designan generalmente mediante un nombre común (por ejemplo: cáprico, láurico, palmítico, oleico, linoleico, etc.) En la Tabla RB.4.3 se detalla el nombre común, el nombre químico sistemático y la formula química de los ácidos grasos más frecuentes en alimentos de consumo habitual. Los dobles enlaces están en configuración *cis*.

La presencia de insaturaciones en la cadena carbonada favorece la creación de un plan de simetría capaz de generar una amplia variedad de isómeros según la posición, la unión, la configuración y las ramificaciones (Halpern, 1997; Ferreira, 1994).

De esta manera, se puede encontrar en los ácidos grasos, de acuerdo con Monsón (2001), los tipos de isomerías siguientes:

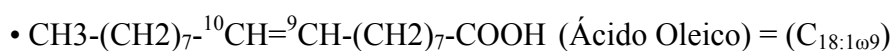
- **Isomeria de ramificación:** En los ácidos grasos con cadenas ramificadas, la isomería de ramificación queda definida por la posición y la longitud de la o las ramificaciones.
- **Isomeria de posición:** provocada por la posición del doble enlace en la cadena del ácido graso. Como consecuencia de la presencia de enlaces dobles, aparecen también

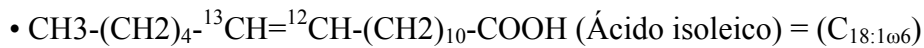
los llamados isómeros de posición cuando, para una misma longitud de la cadena y un mismo número de insaturaciones los enlaces dobles ocupan diferentes posiciones a lo largo de la cadena hidrocarbonada (Partidário, 1998).

Tabla RB.4.3. Ácidos grasos de mayor interés nutricional.

	Número de carbonos	Nº Dobles Enlaces	Nombre Común	Nombre Sistemático	Fórmula Química	
Saturados	4	0	Butírico	Butanoico	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	
	6	0	Caproico	Hexanoico	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	
	8	0	Caprílico	Octanoico	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	
	10	0	Cáprico	Decanoico	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	
	12	0	Láurico	Dodecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	
	14	0	Mirístico	Tetradecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	
	16	0	Palmítico	Hexadecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	
	18	0	Estearico	Octadecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	
	20	0	Araquídico	Eicosanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	
	22	0	Behénico	Docosanoico	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ COOH	
24	0	Lignocérico	Tetracosanoico	CH ₃ (CH ₂) ₂₂ COOH		
Monoinsaturados	16	1	Palmitoleico	9c-Hexadecaenoico	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	
	18	1	Oleico	9c-Octadecaenoico	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	
	18	1	Elaídico	9trans-Octadecaenoico	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	
	20	1	Gadoleico	9c-Eicosaenoico	CH ₃ (CH ₂) ₉ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	
Polinsaturados	ω-9	20	3	Dihomo-γ-linolénico	3c,6c,9c Eicosatrienoico	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₅ COOH
		18	2	Linoleico	9c,12c-Octadecadienoico	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH
	ω-6	18	3	γ-Linolenico	6c,9c,12cOctadecatrienoico	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=C HCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₄ COOH
		20	4	Araquidónico	5c,8c,11c,14c Eicosatetraenoico	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=C HCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₃ COOH
ω-3	18	3	α-Linolénico	9c,12c,15c Octadecatrienoico	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	

Fuente: Adaptado de Mataix *et al.* (2004).





- **Isomeria de conjugación:** cuando existe más de un doble enlace, pueden originarse dos estructuras diferentes: conjugados (entre los dos dobles enlaces existen dos átomos de carbono) y no conjugados (entre los dos dobles enlaces existen tres átomos de carbono). Figura RB.4.3.

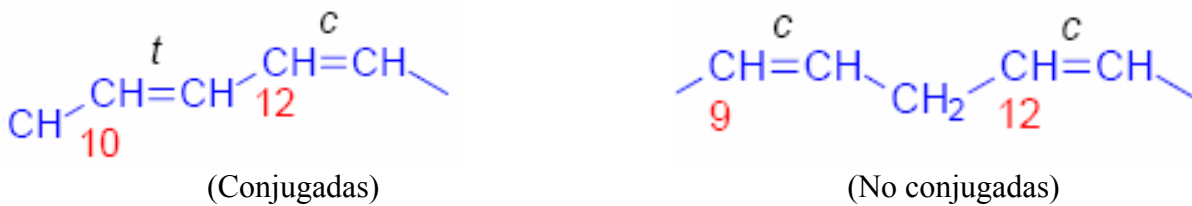


Figura RB.4.3. Ilustración de la Isomeria de conjugación.

- **Isomeria Geométrica (cis-trans):** define la posición relativa de los átomos de hidrógeno unidos a los átomos de carbono del doble enlace (Nasiff-Hadad *et al.*, 2003). Si se sitúan en el mismo lado de la cadena carbonada, se encuentran en la forma *cis*, si se disponen en lados diferentes, ocurre la forma *trans* (Ferreira, 1994) (Figura RB.4.4.). Según Catania *et al.* (2001), la configuración *cis* o *trans* de una conexión doble en la cadena hidrocarbonada, también puede ser indicativo de la nomenclatura abreviada de AG. Así, en el caso concreto del ácido araquidónico (5,8,11,14-eicosatetraenóico), se representa a través de $\text{C}_{20:4\ 5c,8c,11c,14c}$

Al aumentar el número de dobles enlaces, se origina una importante curvatura en la molécula del ácido graso con relevantes repercusiones en la conformación de los triglicéridos y fosfolípidos que contienen a estos ácidos grasos (Mataix, 2002).

En la naturaleza, la mayoría de los ácidos grasos insaturados se hallan en configuración *cis*, los que presentan configuración *trans* sólo se encuentran en grasas hidrogenadas y en algunas provenientes de rumiantes (Catania *et al.*, 2001). Por ejemplo, la mantequilla contiene aproximadamente un 2% de sus ácidos grasos con configuración *trans*, que se sintetizan mediante un proceso de biohidrogenación efectuado en el rumen.

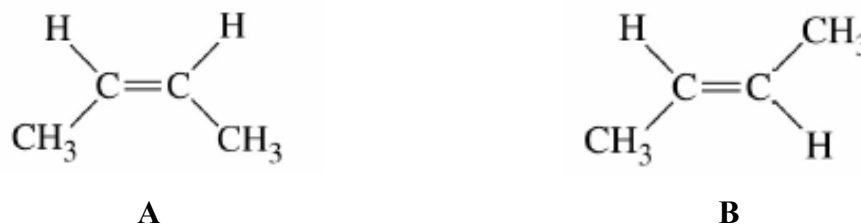


Figura RB.4.4. Ilustración de la isomeria *cis* (A) y *trans* (B) en la molécula de los ácidos grasos.

4.5. Clasificación de los Ácidos Grasos.

Los AGs se pueden clasificar en diversas categorías atendiendo a diferentes criterios como la longitud de cadena, el grado de saturación y el emplazamiento del primer enlace. Incluso se clasifican en esenciales, si no son sintetizados por el organismo o no esenciales cuando si pueden ser sintetizados.

Con respecto al criterio longitud de cadena o número de átomos de carbono (C), se vienen clasificando en tres categorías, AG de cadena corta, media y larga. Si bien entre los autores no existe un mismo criterio para definir hasta que nº de carbonos corresponden a cada categoría, siguiendo a Carta *et al.*, (2008) se definen los grupos en:

- AG de cadena corta (4 a 10 carbonos),
- AG de cadena media (12 a 15 carbonos) y
- AG de cadena larga (16 a 24 carbonos).

Algunos autores establecen 4 grupos, considerando el último grupo como de cadena muy larga (20 a 24 carbonos) (Nasiff-Hadad *et al.*, 2003).

En función del grado de saturación de los AG, la presencia o ausencia de dobles enlaces (-CH=CH-) en la cadena, los ácidos grasos se dividen en dos grandes grupos según sus características estructurales en:

- ácidos grasos saturados (AGS), cuando no presentan dobles enlaces, y
- ácidos grasos insaturados (AGI), cuando presentan al menos un doble enlace.

Los ácidos grasos insaturados, dependiendo del grado de insaturación que posean, se pueden clasificar como ácidos grasos monoinsaturados o monoenoicos (AGMI o MUFA's), cuando presentan un único doble enlace y ácidos grasos poliinsaturados o polienoicos (AGPI o PUFA's), cuando presentan dos o más dobles enlaces en la cadena de carbonos.

Dependiendo de la posición del primer doble enlace, desde el carbono extremo al grupo funcional carboxílico, los MUFA's y los PUFA's pueden clasificarse en tres series principales (Ortega, 2002) :

- ω 9 (primer doble enlace en el carbono 9),
- ω 6 (primer doble enlace en el carbono 6) y
- ω 3 (primer doble enlace en el carbono 3).

A) Ácidos Grasos Saturados.

Los ácidos grasos saturados (AGS) son característicos de las grasas animales y presentan la fórmula general $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$, correspondiendo la "n" a varios átomos de carbono (Ferreira, 1994). Los enlaces sencillos carbono-carbono ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) confieren al ácido graso una estructura rectilínea en zig-zag. Este grupo de compuestos está constituido principalmente por ácidos de 4 a 24 átomos de carbono. Entre los más comunes, Partidário (1998) cita los de cadena lineal con número de átomos de carbono entre 14 y 20. Sin embargo, aparecen en la naturaleza ácidos grasos con hasta 30 átomos de carbono en su estructura y algunos con un número impar de átomos de carbono.

Los ácidos de C_4 a C_{12} son característicos de las grasas de la leche, donde representan aproximadamente el 5% (8% en la mantequilla). Su punto de fusión aumenta con el peso molecular. Así, los ácidos grasos con menos de 10 átomos de carbono ($\text{C}_{4:0}$ a $\text{C}_{8:0}$) son líquidos a la temperatura ambiente y parcialmente solubles en agua (Catania *et al.*, 2001). A partir de los 12 átomos de carbono, son sólidos y prácticamente insolubles en agua. Los ácidos grasos saturados de cadena corta contribuyen al aroma y sabor de los derivados lácteos. Como ácidos grasos más abundantes en este grupo, se citan el palmítico (hexadecanóico, o $\text{C}_{16:0}$), apareciendo prácticamente en todas las plantas y grasas animales (Christie, 1982), y el esteárico (octadecanóico o $\text{C}_{18:0}$), generalmente considerado el más abundante en lípidos complejos (Christie, 1982), y el componente principal de las grasas animales (20-30%) (Ferreira, 1994).

El ácido caprílico ($\text{C}_{8:0}$) se encuentra en los aceites de coco (7-8%) y también, pero en cantidad más pequeña, en el aceite de grana de la uva. Se encontraron valores del orden del 2,5% en leche de la oveja (Herrera, 1991). El ácido cáprico ($\text{C}_{10:0}$) también

aparece, según Partidário (1998), en aceites de coco, mientras el ácido láurico (C_{12:0}) constituye el componente principal de estos aceites (45-50%).

El ácido mirístico (C_{14:0}) no es un componente muy importante en la mayoría de los lípidos animales, donde constituye aproximadamente del 3 al 4% de los ácidos grasos totales, con excepción de la grasa de rumiantes donde alcanza valores más elevados (8 a 12%) (Jandal, 1996, Partidário, 1998).

El ácido araquídico (C_{20:0}) generalmente es un componente minoritario en la mayoría de las grasas (inferior al 1%).

Los AGS más frecuentes se presentan en la Tabla RB.4.4.

Tabla RB.4.4. Ácidos grasos saturados más frecuentes en los diversos alimentos.

Nombre común	N.º átomos de carbono	Fórmula química	Punto de fusión (°C)	Porcentaje en leche ovina	Origen
Butírico	C _{4:0}	C ₄ H ₈ O ₂	-7,9	4,0	Mantequillas
Caproico	C _{6:0}	C ₆ H ₁₂ O ₂	-2,4	2,8	Leche de Rumiantes
Caprílico	C _{8:0}	C ₈ H ₁₆ O ₂	16,7	2,7	Aceites vegetales
Cáprico	C _{10:0}	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	31,2	9,0	Grasa láctea
Láurico	C _{12:0}	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	44,2	5,4	Aceites vegetales
Mirístico	C _{14:0}	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	54,4	11,9	Grasa Animal
Palmítico	C _{16:0}	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	62,9	25,4	Animal/Vegetal
Estearico	C _{18:0}	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	69,6	9,0	Animal/Vegetal
Araquídico	C _{20:0}	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	74,4	0,4	Aceites vegetales
Behénico	C _{22:0}	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	79,7	0,2	Aceites vegetales
Lignocérico	C _{24:0}	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	84,2	0,1	Aceites vegetales

Fuente: Adaptado de Ferreira (1994); Nollet (1996) e Halpern (1997).

Los AGs con número impar de carbonos aparecen en cantidades muy pequeñas en la naturaleza. Entre ellos, el ácido propiónico (C_{3:0}), presente en leches y en productos lácteos, normalmente bajo la forma esterificada y como resultado de fermentaciones microbianas. El ácido valérico (C_{5:0}) y el heptanóico (C_{7:0}) además de la representatividad en la grasa de la leche y productos lácteos, también se encuentran en forma esterificada en aceites (Ferreira, 1994).

Según Markley (1960) mencionado por Partidário (1998), otros ácidos se consideran como de necesidad extrema para la especie humana, es el caso del ácido pelargónico (C_{9:0}), que, además de estar presente en la grasa de la leche de los rumiantes y en la grasa humana, aparece en el reino vegetal y en aceites esenciales. Los ácidos

undecanóico (C_{11:0}) y tridecanóico (C_{13:0}) se encuentran distribuidos en leches y productos lácteos, aunque en cantidades muy reducidas (<0,1%). Sin embargo, el ácido undecanóico aparece en cantidades un poco superiores en leche de oveja (0,06-0,12%). El pentadecanóico (C_{15:0}) aparece, como la mayoría de los ácidos grasos impares, en la leche de diferentes especies, normalmente en cantidades de 1-2% (Christie, 1982).

Tabla RB.4.5. Valores medios del perfil de AG en distintas razas ovinas.

Variable	Nudda ¹	Lock ²	Signorelli ³	Gomez-Cortés ⁴	Carta ⁵
C _{4:0}		4,22	4,79	3,51	3,63
C _{6:0}		1,92	2,80	3,27	2,37
C _{8:0}	1,71	1,36	2,31	2,90	1,92
C _{10:0}	5,57	3,54	6,04	9,64	9,21
C _{12:0}	3,43	2,06	3,75	5,09	4,46
C _{14:0}	9,39	6,78	9,76	12,35	9,57
C _{14:1}	0,17	0,46	0,06	0,29	0,17
C _{16:0}	22,32	31,10	23,87	27,96	18,10
C _{16:1}	0,76	0,92	0,25	0,26	0,62
C _{18:0}	1,93	9,37	9,48	4,86	8,53
C _{18:1c9}	19,56	23,60	25,11	12,18	16,92
C _{18:1t11}	3,40	1,73		2,08	2,37
C _{18:2}	2,60	6,83	3,65	2,70	1,71
C _{18:3n-3}	0,98	0,22	0,71	0,35	0,96
C _{18:2 c9,t11 (CLA)}	1,73	0,82	1,79	1,04	1,26
C _{18:2 t10,c12 (CLA)}	0,04	0,01		0,03	
AGS			64,48		59,35
AGMI			27,06		20,10
AGPI			6,15		3,93

Fuente: (1) Nudda *et al.* (2005); (2) Lock *et al.* (2006); (3) Signorelli *et al.* (2008); (4) Gómez-Cortés *et al.* (2008); (5) Carta *et al.*, (2008).

Estudios realizados por Beorlegui (2004), demostraron que el contenido de ácidos grasos de cadena larga (>C_{18:0}) en la leche, está relacionado directamente con su concentración en plasma y, por tanto, con su inclusión en la ración o con la movilización de reservas corporales de lípidos. En el caso del ácido esteárico (C_{18:0}) debe tenerse en cuenta que la hidrogenación de sus precursores insaturados en el rumen no siempre es completa y que, además, una parte (alrededor del 40%) del que llega a la

glándula mamaria es desaturado a oleico c-9 C_{18:1} por la elevada actividad Δ^9 -desaturasa en las glándulas secretoras (Chilliard *et al.*, 2001b).

El perfil lipídico en la leche de oveja depende obviamente de muchos factores, raza, manejo, alimentación, etc. En la Tabla RB.4.6 se presentan los perfiles de algunas de las experiencias publicadas, con la finalidad de tener una idea general de su contenido y variabilidad entre razas.

B) Ácidos Grasos Insaturados.

Los AGI se diferencian entre sí por el número de átomos de carbono y por las características de los dobles enlaces, ya que varían en número, posición, configuración y conjugación. La clasificación de mayor utilidad en nutrición es aquella que los agrupa por el número del carbono donde se ubica el primer doble enlace, que hemos expuesto anteriormente. De las tres series de ácidos grasos insaturados designadas por el sistema de nomenclatura omega, la mayor atención se ha puesto últimamente en los de la serie $\omega 3$.

Estos ácidos grasos poseen propiedades biológicas muy importantes, relacionadas con enfermedades cardio-vasculares, reacciones inflamatorias y respuesta inmunológica, que los hacen objeto de numerosos estudios e investigaciones en el campo de la nutrición. Bioquímicamente, lo importante en los ácidos grasos insaturados es la posición del doble enlace carbono-carbono que esté más cercano al grupo metilo opuesto al carboxilo. Por lo tanto, para propósitos bioquímicos y nutricionales se numeran los átomos de carbono desde este extremo. El número de insaturaciones de éstos ácidos grasos es de una a seis y suelen encontrarse en la posición 9.

C) Ácidos Grasos Monoinsaturados.

Entre los MUFA (ácidos grasos con un único doble enlace), es importante mencionar el ácido oleico (C_{18:1 ω 9}) representando aproximadamente el 40% de los AG que contienen las grasas alimentarias (Ferreira, 1994). En la leche, el ácido oleico es considerado el ácido insaturado más importante, en términos cuantitativos, alcanzando valores del orden del 20-25%, del total de ácidos grasos. El gran interés del ácido oleico, respecto a los ácidos grasos poliinsaturados, reside en el hecho de que disminuye el colesterol-LDL sin influenciar el colesterol-HDL. Los ácidos decaenóico (C_{10:1}),

undecaenólico ($C_{11:1}$) y dodecaenólico ($C_{12:1}$) no presentan gran interés por aparecer en concentraciones muy bajas.

El ácido tetradecaenólico ($C_{14:1}$), cuyo isómero más importante en términos cuantitativos es el ácido miristoleico, $C_{14:1\omega9}$, tanto en la forma *cis* como en la *trans*, aparece de forma natural en las grasas animales, especialmente en leche de rumiantes y aceites de pescado. En el caso de los trece isómeros del ácido pentadecaenólico ($C_{15:1}$), solo uno aparece de forma natural, $C_{15:1\omega6}$ y se encuentra descrito en leche de rumiantes y en aceite de ballena (Partidário, 1998).

El ácido hexadecaenólico ($C_{16:1}$) se ha aislado en las fuentes naturales más variadas y ha sido el ácido palmitoleico, $C_{16:1\omega9}$, el isómero con mayor distribución, encontrándose en plantas y animales, con valores de 2-6% (Kurtz, 1980). De acuerdo con el mismo autor, el ácido heptadecaenólico ($C_{17:1}$), presenta varios isómeros en la naturaleza. El más común y abundante, se conoce como ácido margárico, $C_{17:1\omega9}$, que en la leche de rumiantes, aparece al menos en su forma *trans*. El ácido octadecanólico ($C_{18:1}$), tiene por lo menos cinco formas isoméricas que pueden surgir naturalmente. El ácido elaídico, $C_{18:1\omega9t}$ aparece principalmente en las grasas de rumiantes. Las referidas formas pueden alcanzar un 10% del total de ácido oleico (Kurtz, 1980). En la grasa de leche de rumiantes también se encontraron (Precht *et al.*, 2000) otros isómeros de menor interés: $C_{18:1\omega4}$, $C_{18:1\omega3}$ y $C_{18:1\omega6t}$.

D) Ácidos Grasos Poliinsaturados.

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA o AGPI) se caracterizan por presentar una cadena larga, que contiene en su estructura dos o más dobles enlaces. Recientemente se les ha concedido una gran importancia en nutrición y alimentación y también por su potencialidad en aplicaciones terapéuticas (Hurley, 1991).

Los ácidos grasos poliinsaturados, son los constituyentes mayoritarios de los fosfolípidos, cadenas de ácidos grasos fosforilados con ácido fosfórico, esenciales para la formación de la estructura de la membrana celular. Los ácidos grasos poliinsaturados son considerados abundantes en la naturaleza, particularmente en las grasas animales y vegetales (Ferreira, 1994).

Los PUFA están constituidos por dos familias sumamente importantes: la familia $\omega 6$ (ej: el ácido linoleico $C_{18:2 \omega-6}$) que abunda en los aceites vegetales de maíz, girasol y soja, y la familia $\omega 3$ (es un ejemplo emblemático el ácido α -linolénico) que se encuentra en pequeñas cantidades en algunos aceites vegetales y plantas, siendo muy frecuente en los animales marinos (Mata *et al.*, 2004).

Los PUFA se hallan formando parte de una amplísima variedad de seres vivos, tanto del reino animal como del vegetal. Sin embargo, se encuentran sobre todo en los microorganismos (especialmente algas, hongos y bacterias) y también en los insectos. Son estos últimos cuatro grupos taxonómicos los que poseen las baterías de desaturasas y elongasas requeridas para la producción *de novo* de todos estos ácidos. Por otra parte, las plantas superiores rara vez contienen ácidos grasos de cadena superior a 18 carbonos, debido a que no poseen las enzimas necesarias para producirlos. Los animales superiores, al igual que las plantas superiores, no pueden sintetizar ácidos grasos de longitud superior a 18 carbonos. Por ello no son capaces de sintetizar *de novo* PUFA de mayor longitud. Sin embargo, una vez obtenidos, sí son capaces de transformarlos en otros PUFA. La consecuencia es que estos ácidos grasos son esenciales para los animales superiores, incluidos los mamíferos, que se aprovisionan de ellos a través de fuentes tales como microorganismos o plantas.

Estos ácidos están involucrados en numerosos procesos. Son componentes esenciales tanto de las membranas celulares como de las organulares, donde se encuentran principalmente formando parte de fosfolípidos. Son importantes para la regulación de la arquitectura y la dinámica de estas membranas y también para el control de muchos procesos asociados. Regulan proteínas de membrana tales como la ATPasa, proteínas de transporte y complejos de histocompatibilidad y modulan las interacciones con componentes extracelulares como las proteínas de unión a ácidos grasos. Además, los PUFA desarrollan importantes funciones sobre la expresión genética de cuatro familias de factores de transcripción, como son los receptores activadores de la producción de peroxisomas (PPAR), receptores X de hígado (LXRs), factor nuclear hepático 4 (HNF-4) y proteínas de unión a elementos reguladores de esteroides (SREBPs). También tienen un impacto importante en actividades bioquímicas de las células, tales como los procesos de transporte y de estímulo-respuesta celulares. Se encuentran implicados en procesos fisiológicos que incluyen el metabolismo

lipídico, las respuestas inmunes, la adaptación al frío y cumplen un papel en ciertas condiciones patológicas tales como la carcinogénesis y las enfermedades cardiovasculares.

La ingestión relativa y absoluta de PUFA puede tener consecuencias fundamentales para la biosíntesis de eicosanoides y también para las funciones celulares y tisulares en el organismo. Durante los últimos 20 años, se ha puesto de manifiesto que los PUFA actúan como precursores de una gran variedad de metabolitos bioactivos, con diferentes funciones fisiológicas. Aunque todavía se están empezando a conocer muchas de estas funciones, su impacto en las enfermedades y las consecuencias de sus modificaciones en la dieta, lo que sí está claro es que son nutrientes críticos para el organismo.

En el siguiente capítulo nos referiremos a este tipo de AG, ya que en su mayor parte tienen interés alimentario.

4.6. Ácidos Grasos de interés en la alimentación humana.

En las últimas décadas, se ha demostrado que algunos ácidos grasos son potentes protectores de diferentes disfunciones y de algunas de las enfermedades crónicas más relevantes en la actualidad, como la aterosclerosis, la diabetes mellitus, la hipertensión arterial, la enfermedad inflamatoria, la obesidad y determinados cánceres (Bartsch *et al.*, 1999; James *et al.*, 2000; Hu *et al.*, 2002; Kris-Etherton *et al.*, 2002, Hauswirth *et al.*, 2003; Ruxton *et al.*, 2004).

En los países industrializados, ha existido un cambio absoluto y relativo en el aporte de ácidos grasos ω -3 y ω -6 en los alimentos que, junto al cambio en los hábitos dietarios, hace que la relación ω -6/ ω -3 sea de 15-20:1, cuando debería ser inferior a 10:1 (FAO/OMS, 1997; Simolopoulos, 2003; Mata *et al.*, 2002). En Estados Unidos, la proporción ω -6/ ω -3 presente en los alimentos, ha pasado de 4:1 a principios de siglo a cerca de 20:1 en la actualidad, debido al empleo excesivo de grasas con AG saturados y a la disminución en el consumo de grasas con AG ω -3 (pescados de agua fría y aceite de semillas de lino) (Galgani, 2004; Prates *et al.*, 2002).

Los principales PUFA de la familia ω -3 son el ácido α -linolénico (C_{18:3} ω ₃), el ácido eicosapentaenoico (EPA; C_{20:5} ω ₃) y el ácido docosahexaenoico (DHA; C_{22:6} ω ₃),

que proporcionan una protección adicional, en particular sobre la enfermedad coronaria fatal. Los ácidos grasos ω -3 están implicados, no sólo en la maduración y el crecimiento cerebral y retiniano del niño, sino que intervienen en los procesos de inflamación, coagulación, presión arterial, órganos reproductivos y metabolismo graso.

El ácido α -linolénico sufre, dentro del organismo animal, una serie de transformaciones similares a las del ácido linoleico, sintetizándose el ácido eicosapentaenoico, precursor de la síntesis de moléculas activas en tejidos. Otro ácido graso necesario en la dieta es el docosahexaenoico, que se considera fundamental en la formación del tejido nervioso, por lo que su requerimiento se asocia, principalmente, con las primeras etapas del desarrollo tanto intra como extrauterino.

Otro grupo importante de ácidos grasos está constituido por los llamados ω -6, representados principalmente por el ácido linoleico ($C_{18:2 \omega 6}$ o LA) y derivados suyos como el γ -linoleico (GLA), el dihomo- γ -linoleico (DHGLA) y el araquidónico ($C_{20:4 \omega 6}$ - AA o ARA). En la serie de los ω -6, hay que prestar especial atención al ácido gammalinolénico (GLA) y al ácido araquidónico (AA). Suelen encontrarse en aceites refinados de semillas como girasol, maíz, onagra y borraja. A nivel nutricional, se han descrito efectos beneficiosos para la salud humana, sobre todo por contribuir a la reducción de enfermedades cardiovasculares, neoplásicas, afecciones del sistema óseo (osteoporosis) y enfermedades de las articulaciones (Sariego, 2001).

El mayor interés se centra actualmente en un grupo de isómeros del ácido linoleico, conocidos conjuntamente como CLA. Por esta razón le dedicaremos más atención. En la década de los años 70, Pariza y sus colaboradores, identificaron en la Universidad de Winsconsin un componente de la hamburguesa, tanto cruda como cocida, que podría inhibir la mutagénesis (Pariza *et al.*, 1979). A partir de su purificación y síntesis, en 1983 demostraron su eficacia en la supresión de distintos tumores (estómago, próstata, colon, mama) en distintos modelos animales, a concentraciones tan bajas como 0,05% o consumos equivalentes de 2g/d en la dieta humana. Ha *et al.* (1987), observaron que los extractos de carne vacuna poseían, además de componentes mutagénicos, otros con actividad antimutagénica, presentes independientemente del tipo de cocinado, al contrario de lo que se creía anteriormente.

Pariza y Margraves, en 1985, demostraron que el mismo extracto de la carne era capaz de inhibir la progresión del tumor de las células epiteliales. Poco después, Ha *et al.* (1987) aislaron y caracterizaron este componente antimutagénico de la fracción lipídica de la carne. Descubrieron también, que la fracción aislada contenía cuatro isómeros derivados del ácido linoleico, cada uno de ellos con un sistema de doble enlace conjugado, denominados ácidos linoleicos conjugados (CLA). Desde entonces, diversos estudios han confirmado la actividad anticarcinogénica del CLA, hecho que conducirá a la National Academy of Science a considerarlo como el único ácido graso que, indudablemente, parece capaz de inhibir la carcinogénesis en animales experimentales.

El ácido linoleico conjugado ha sido adicionado recientemente a la lista de compuestos nutraceuticos, basándose en una creciente cantidad de resultados, obtenidos de estudios en sistemas animales, en los cuales el CLA ha mostrado un amplio rango de efectos biológicos (García *et al.*, 2003).

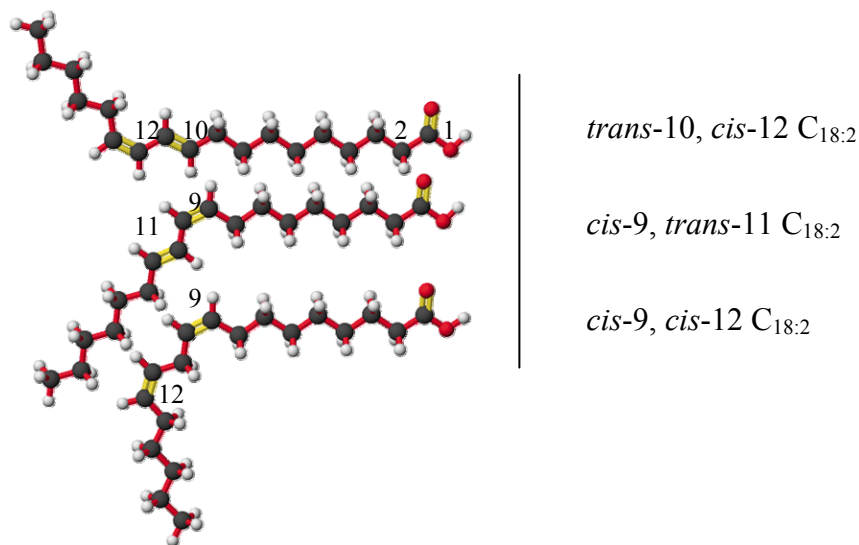


Figura RB.4.5. Estructura de los isómeros del CLA *trans*-10, *cis*-12; *cis*-9, *trans*-11 e y el ácido linoleico (*cis*-9, *cis*-12) (Adaptación de Pariza *et al.*, 2001).

Yurawecz *et al.* (2001) han detectado 56 posibles isómeros geométricos y de posición del CLA. Se describen como formas principales del CLA, los isómeros geométricos: *cis*-9, *cis*-11; *trans*-9, *trans*-11; *cis*-10, *cis*-12; *trans*-10, *trans*-12 y los isómeros posicionales: *cis*-9, *trans*-11; *trans*-9, *cis*-11; *cis*-10, *trans*-12 y *trans*-10, *cis*-

12 (Figura RB.4.5), siendo el *cis-9, trans-11*, el identificado como un potente anticarcinogenico natural. Teóricamente, sólo dos isómeros, se consideran las formas biológicamente activas del CLA, al menos en leche de rumiantes y son: el *cis-9, trans-11* y el *trans-10, cis-12* (Parodi, 1997 y 1999). En el caso de la grasa de los productos lácteos de origen ovino, se han detectado porcentajes de CLA que oscilan entre el 1,2-3 % de los ácidos grasos de la leche (Parodi, 2003) y entre el 0,8-2,0% en los del queso (Prandini *et al.*, 2001). En la grasa típica de la leche de rumiantes, el *cis-9, trans-11*, conocido también como ácido ruménico (RA), es el principal isómero y varía del 75 al 85% del CLA total en la grasa de la leche de vaca (Piperova *et al.*, 2004), entre el 78 y el 89% en la leche de oveja (Antongiovanni *et al.*, 2004), y un 64% (Nudda *et al.*, 2006) en leche de cabra.

El CLA es un ácido graso poliinsaturado presente en varios alimentos, preferencialmente en productos lácteos y carne de rumiantes, como bovinos (5,5 mg CLA/g de grasa), ovinos (2,9 a 4,3 mg CLA/g de grasa) y caprinos, también podría encontrarse, aunque en cantidades más reducidas, en carne de porcino y pollo (Ip *et al.*, 1994; Jiang *et al.*, 1996; Steinhart, 1996). Su concentración es particularmente alta en la carne y en la leche de los rumiantes, donde puede alcanzar hasta un 0,65% de los lípidos totales (Fritsche *et al.*, 1998). De acuerdo con Chin *et al.* (1992), el contenido de ácido linoleico conjugado en los quesos naturales varía de 2,9 a 7,1 mg CLA/g de grasa y, en los procesados, alrededor de 5 mg CLA/g de grasa, con muy poca variación en su contenido.

Los autores referenciados, también revelan, que las fuentes de origen animal son más ricas en CLA que las fuentes de origen vegetal. Pariza *et al.* (2000), pioneros en el descubrimiento de la actividad biológica del CLA, revelaron que la grasa de la leche es, sin ninguna duda, la fuente natural más importante de suministro de CLA en la dieta humana, siendo el enriquecimiento de la leche con esta sustancia bastante interesante para la salud.

5. METABOLISMO DE LOS LÍPIDOS EN RUMIANTES.

5.1. Fuentes lipídicas en la alimentación de los rumiantes.

Los alimentos ricos en lípidos no forman parte del régimen habitual de los rumiantes. Una ración para vacas en lactación contiene por término medio un 3% de materia grasa, mayoritariamente en forma de glycolípidos y fosfolípidos. El ácido graso dominante es el ácido linolenico ($C_{18:3}$) que representa entre el 55% y el 65% de los AG de la hierba (Bauchart *et al.*, 1985; Harfoot et Hazlewood, 1988). El ensilaje de hierba tiene generalmente la misma cantidad de AG totales y de $C_{18:3}$ que la hierba fresca, pero el heno tiene un menor contenido tanto en AG totales (1%) como en $C_{18:3}$ (17% de la AG) (Doreau y Poncet, 2000).

En los cereales, los triglicéridos representan alrededor de un 98% de los lípidos totales (Bauchart *et al.*, 1985). Aunque estos y las semillas proteaginosas tienen bajo contenido en grasa y su composición en AG se caracteriza por un elevado porcentaje de $C_{18:2}$ (50% al menos) y un porcentaje escaso de AGS (un 20% a lo sumo), principalmente del ácido palmítico ($C_{16:0}$) (Bauchart *et al.*, 1985; Morand-Fehr et Tran, 2001).

Las semillas oleaginosas y los aceites vegetales son otra fuente de ácidos grasos. Tienen elevadas proporciones de AGMI y AGPI así como las grasas resultantes de las frutas de palmeras. Las semillas oleaginosas contienen sobre todo $C_{18:2}$ y ácido oléico ($C_{18:1,c9}$) (Morand-Fehr *et al.*, 2001). Por ejemplo: las semillas de colza son ricas en $C_{18:1,c9}$, y las de soja en $C_{18:2}$. Las semillas de lino contienen mayoritariamente el $C_{18:3}$, que representa alrededor un 57% de la AG totales (Palmquist et Jenkins, 1980; Morand-Fehr *et al.*, 2001).

5.2. Metabolismo de los Lípidos en el Rúmen.

A) Digestión ruminal de los lípidos alimentarios.

Los lípidos consumidos por los rumiantes están, generalmente, bajo forma esterificada, bien constituyendo triglicéridos en los alimentos concentrados, o en forma de glycolípidos y fosfolípidos en los forrajes verdes, o bajo una forma específica como

los jabones de AG en algunos productos comerciales. Dos procesos principales tienen lugar en el rumen: la “lipólisis o hidrólisis” y la “biohidrogenación” de AG no saturados (Beorlogui, 2004), con la participación de los microorganismos ruminales.

En el rúmen ocurre una extensa **hidrólisis** de los lípidos esterificados de la dieta, por la acción de lipasas de los microorganismos, que liberan ácidos grasos (Harfoot y Hazlewood, 1988). La hidrólisis de los lípidos puede cambiar considerablemente con la cantidad y la fuente de los lípidos añadidos a la ración.

Tras la lipólisis o hidrólisis, se produce la **biohidrogenación**, es decir, la adición de hidrógeno a los ácidos grasos insaturados. Estos procesos suelen tener lugar rápidamente, afectando a la mayor parte de la grasa ingerida, lo que explica que las grasas de rumiantes sean en general más saturadas que las de animales monogástricos (Beorlegui, 2004).

La fracción de los microorganismos que realiza la lipólisis y la biohidrogenación es menor con dietas ricas en cereales, permitiendo así un mayor escape de lípidos intactos de la dieta (Towne *et al.* 1990). Aunque la lipólisis es rápida, la velocidad sigue siendo un factor limitante, que sirve posiblemente para prevenir la formación de cantidades excesivas de ácidos grasos poliinsaturados que pueden inhibir la biohidrogenación (Ben Salem *et al.* 1993).

Aunque la mayoría de los ácidos grasos insaturados son modificados mediante el metabolismo ruminal, la saturación no suele ser completa (Carro *et al.* 1997). En general, la grasa que llega al intestino delgado de los rumiantes, difiere notablemente de la grasa de la dieta. Aunque casi todos los ácidos grasos insaturados de los vegetales presentan la configuración *cis* entre los átomos de carbono, los microorganismos producen variedad de isómeros *cis* y *trans* de los ácidos grasos y alteraciones en la longitud de la cadena y en la posición de los dobles enlaces (producen ácidos grasos de cadena impar y de cadena ramificada).

El paso inicial de la biohidrogenación del C_{18:2} es una reacción de isomerización que convierte el doble enlace *cis*-12 del ácido graso insaturado en el isómero correspondiente *trans*-11, dando como resultado un conjunto de isómeros (C_{18:2} *cis*-9, *trans*-11; *trans*-9, *cis*-11 entre otros) (Harfoot y Hazlewood, 1988) (Figura RB.5.1) en proporciones variables, que recibe el nombre genérico de ácido linoleico conjugado

(CLA), siendo el ácido ruménico ($C_{18:2}$ *cis*-9, *trans*-11) el isómero mayoritario (30%) (Piperova *et al.*, 2002). Por este motivo, tradicionalmente, se asumió que la presencia de CLA en la grasa de la leche se debía a que el compuesto había escapado del rumen, antes de completar la biohidrogenación, y se le dio el nombre de *ácido ruménico* (Kramer *et al.*, 1998). En una segunda fase, el enlace *cis*-9 es finalmente hidrogenado para formar ácido vaccénico ($C_{18:1}$ *trans*-11).

Las raciones ricas en concentrados y en $C_{18:2}$ (adición de aceite vegetal) favorecen una acumulación de $C_{18:1}$ *trans*-10 (Grinari *et al.*, 1998). Estas comprobaciones permitieron a Grinari y Bauman (1999) proponer otra vía posible de biohidrogenación de $C_{18:2}$, bajo algunas condiciones, el mismo $C_{18:2}$ isomeriza en $C_{18:2}$,*t10c12*, la hidrogenación de este isómero dando el $C_{18:1}$,*t10*, transformado finalmente en $C_{18:0}$.

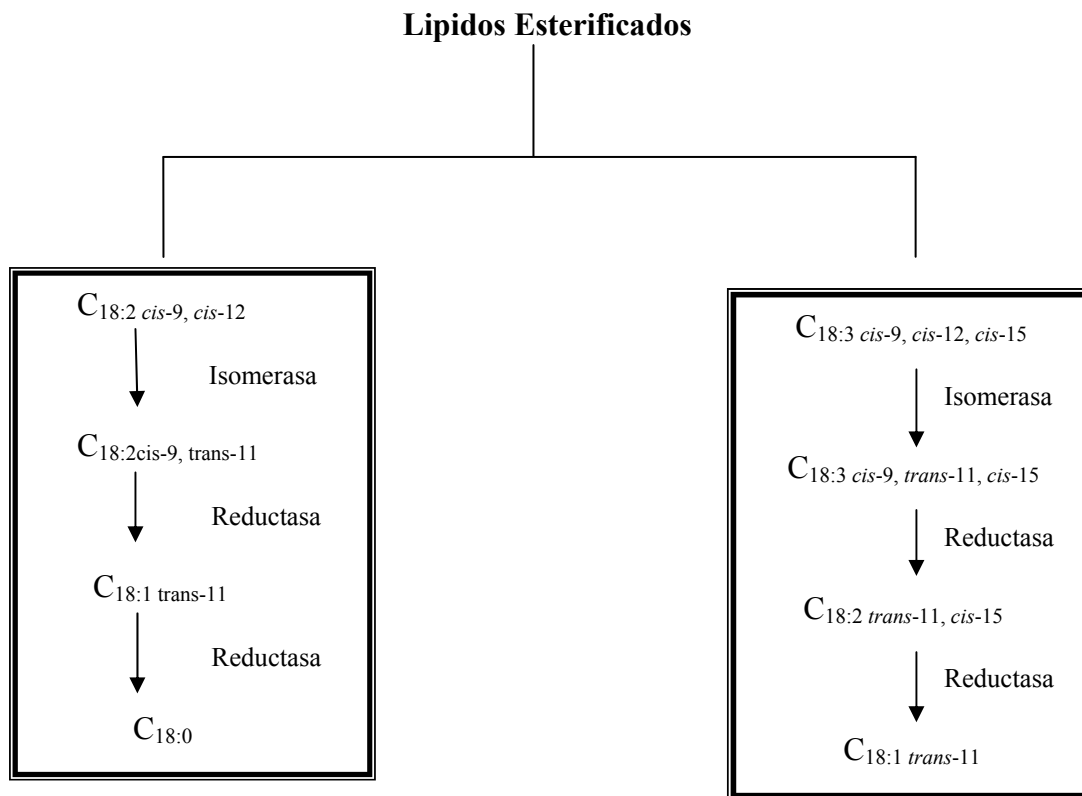


Figura RB.5.1. Esquema de la Lipólisis y Biohidrogenación de los ácidos linoleico y linolénico. Fuente: (Harfoot e Hazlewood, 1988).

Por otra parte, se mencionó una formación de $C_{18:1}$ *trans*-13, $C_{18:1}$ *trans*-14, $C_{18:1}$ *trans*-15, y $C_{18:1}$ *trans*-16 durante la biohidrogenación de $C_{18:2}$ (Loor *et al.* 2001 y 2002). Estos isómeros podrían pues ser comunes a las vías de biohidrogenación de $C_{18:3}$ y $C_{18:2}$. Isomerizaciones del $C_{18:1}$ son también posibles en el rumen. La formación de distintos

isómeros $C_{18:1}$, yendo del $C_{18:1trans-6}$ al $C_{18:1trans-16}$ se observó durante la biohidrogenación de $C_{18:1cis-9}$ (Mosley *et al.*, 2002).

La biohidrogenación del ácido linolénico comienza igualmente con la isomerización del enlace *cis*-12 a *trans*-11 (Harfoot y Hazlewood, 1988), posteriormente se hidrogenan los enlaces *cis*-9 y *cis*-15 dando lugar a ácido vaccénico. El último paso es la reducción del ácido vaccénico para formar ácido esteárico ($C_{18:0}$) (Bauman *et al.*, 2000). Esta hidrogenación ocurre a una velocidad limitada, lo que tiene como consecuencia la acumulación ruminal de ácido vaccénico (0,3-0,4 vs 0,05 mg/g CLA) (Tanaka, 2005) y un mayor paso del mismo a intestino delgado en relación al CLA ($> 15/1$) (Duckett *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2006).

En el proceso de biohidrogenación de un ácido graso normal tal como el linoleico, los productos finales son bastante diversos, con predominio de ácido estearico, y vaccénico. Mientras que, cuando se añaden en forma esterificada, la saturación es total. Las cantidades excesivas de ácido linoleico libre parecen ser las responsables de esta inhibición y manifiesta el mecanismo mediante el cual los ácidos grasos poliinsaturados, especialmente en forma libre, inhiben la función microbiana. También puede ser evitada la hidrogenación mediante el consumo de lípidos protegidos por una envoltura de caseína tratada con formaldehído u otros tratamientos (Wu *et al.* 1991).

La eficacia de la hidrogenación se relaciona, según estudios de Sauvart y Bas (2001) negativamente ($r = -0.34$) con la proporción de concentrados en la ración. Looor *et al.* (2004), han demostrado que, cuando disminuye la proporción de forraje, se produce un aumento del flujo de isómeros $C_{18:1 trans}$ totales. El consumo de grasas como el aceite de pescado, que no son hidrolizadas totalmente, evitará de una forma similar la hidrogenación, ya que es posible con ácidos grasos no esterificados (Wachira *et al.* 2000).

La transformación final de los isómeros $C_{18:1}$, resultantes de la hidrogenación de los AGPI, en $C_{18:0}$ es lenta (Kellens *et al.*, 1986) y, por lo tanto, se acumulan en el rumen en detrimento de $C_{18:0}$ (Gerson *et al.*, 1985). La biohidrogenación de $C_{18:2}$ comienza por una isomerización en *cis*-9, *trans*-11 $C_{18:2}$, que se hidrogena a continuación en *trans*-11 $C_{18:1}$ y finalmente en $C_{18:0}$ (Harfoot et Hazlewood, 1988).

Por lo expuesto, podemos sintetizar que, mediante reacciones de elongación y desaturación, es posible sintetizar ácidos grasos (Figura RB.5.2), disponiendo de las enzimas necesarias.

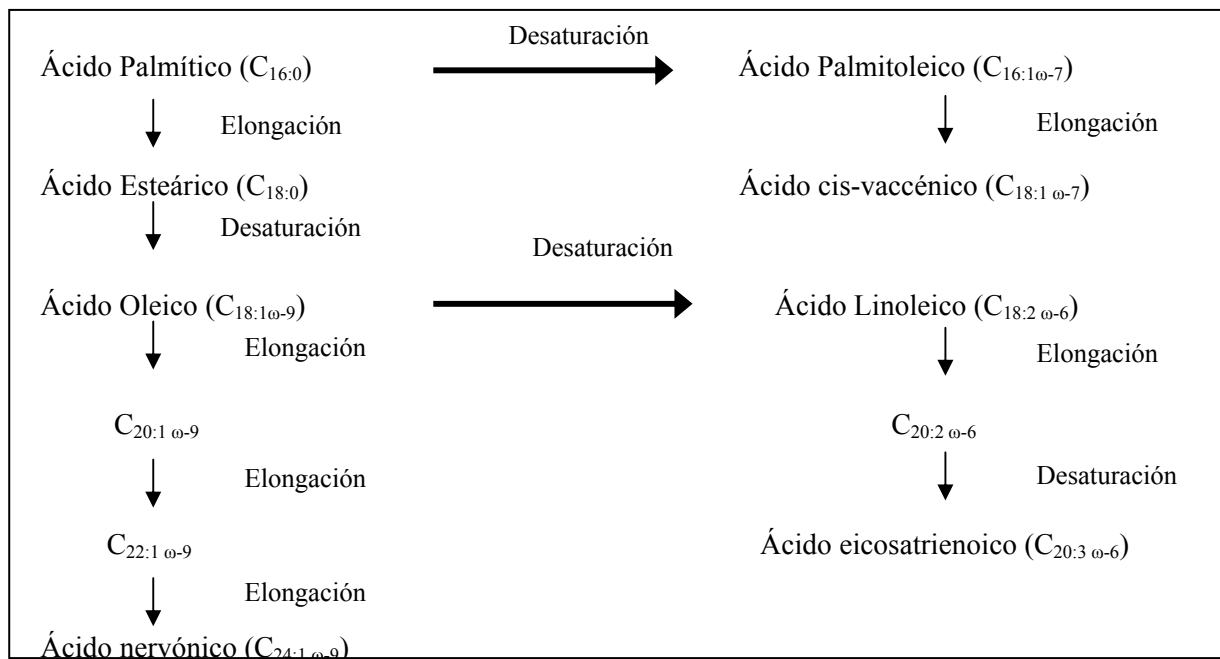


Figura RB.5.2. Biosíntesis de los ácidos grasos mediante elongasas y desaturasas.

Fuente: Bauman *et al.*, (2003)

B) Digestión post ruminal de los lípidos alimentarios.

A consecuencia de los procesos de hidrólisis y biohidrogenación, los lípidos que pasan al intestino delgado de los rumiantes son predominantemente ácidos grasos libres (85-90%), mayoritariamente saturados (80-90%), de los que el ácido esteárico (C_{18:0}) representa dos tercios y el ácido palmítico el tercio restante (Drackley, 2007).

Los lípidos sufren poca transformación en el cuajar. A su entrada, los lípidos son mayoritariamente AGs no esterificados, de origen alimentario o microbiano. Es muy poca la cantidad que se encuentra bajo forma esterificada (fosfolípidos, glucolípidos de origen microbiano, triglicéridos y ésteres de colesterol). El tipo de AG que llega al cuajar son AGS y AGMI, salvo si las grasas de la dieta están protegidas (Bauchart *et al.*, 1985; Toullec et Lallès, 1995). Por otra parte, los jabones de calcio formados en el rumen o aportados por la alimentación, son disociados en el cuajar por la acidez

(Toullec et Lallès, 1995).

A la entrada del intestino, los lípidos se encuentran en dos fases: una fase insoluble, en la cual el AG se fija sobre las partículas alimentarias, y una fase soluble. La digestión intestinal consiste en una transferencia de los AG de la fase insoluble a la fase soluble, ya que solamente los AG de la fase soluble pueden ser absorbidos por la mucosa intestinal (Bauchart *et al.*, 1985).

Los AG se absorben principalmente en el yeyuno y las sales biliares en el íleon (Doreau et Ferlay, 1994). La eficacia de absorción de los AG es más elevada en los rumiantes que en los monogástricos (Noble, 1981).

5.3. Metabolismo de los lípidos en la glándula mamaria.

La grasa de la leche es la resultante de: la biohidrogenación ruminal, la síntesis microbiana de ácidos grasos, la liberación de ácidos grasos en el tejido adiposo y la síntesis “*de novo*” de ácidos grasos en la glándula mamaria. El metabolismo de ácidos grasos insaturados efectuado en el rumen condiciona la posterior lipogénesis en el tejido mamario (Sutton, 1989).

Aproximadamente el 40% de los ácidos grasos de la leche de rumiantes se sintetiza en la propia glándula mamaria, utilizando como precursores acetato y β -hidroxibutirato, procedentes de la fermentación de los hidratos de carbono en el rumen (Chilliard *et al.*, 2000). Esta vía es el origen de los ácidos grasos de cadenas corta y media (4 a 14 átomos de carbono) y de, aproximadamente, la mitad del ácido palmítico.

El resto del ácido palmítico y los ácidos grasos de cadena larga (principalmente C_{18:0} y C_{18:1}) procede de lípidos circulantes en sangre (Chilliard *et al.*, 2000) que tiene su origen en la grasa movilizada de las reservas corporales. La ubre toma de la sangre los AG en forma de triglicéridos; los fosfolípidos y los ésteres de colesterol no son precursores de los AG de la leche (Moore et Christie, 1981).

La transformación de los AG de los triglicéridos en la ubre, depende de la actividad de la lipoproteína lipasa. La actividad de esta enzima es muy elevada en los rumiantes en lactancia (Chilliard *et al.*, 2000).

En la glándula mamaria existe actividad Δ -9 desaturasa, a través de la cual, aproximadamente el 40% de los ácidos grasos esteárico (C_{18:0}) y vaccénico (C_{18:1,trans}-

₁₁), procedentes de la biohidrogenación ruminal, se convierten en ácido oleico (C_{18:1,cis-9}) y CLA (C_{18:2cis-9,trans-11}), respectivamente (Chilliard *et al.*, 2000; Enjalbert *et al.*, 1998; Griinari *et al.*, 2000). Esta última es la vía cuantitativamente más importante (93%) (Piperova *et al.*, 2002) para la formación del CLA (C_{18:2cis-9,trans-11}) presente tanto en leche como en la carne y, por ello, este isómero es el más abundante en dichos alimentos.

Por otra parte, Bauman *et al.* (2006) demostraron la existencia de otra vía metabólica (síntesis endógena) para la formación de CLA. Esta puede ocurrir en el hígado de los rumiantes y, posiblemente, también en los mamíferos no rumiantes (Griinari *et al.*, 2000; Corl *et al.*, 2000).

La síntesis *de novo* de los ácidos grasos. La síntesis endógena de ácidos grasos saturados del C_{6:0} al C_{16:0} en la glándula mamaria, se produce en el citoplasma de las células epiteliales del tejido mamario, a partir de los precursores absorbidos de la sangre, e implica dos grandes pasos (Figura II.5.3).

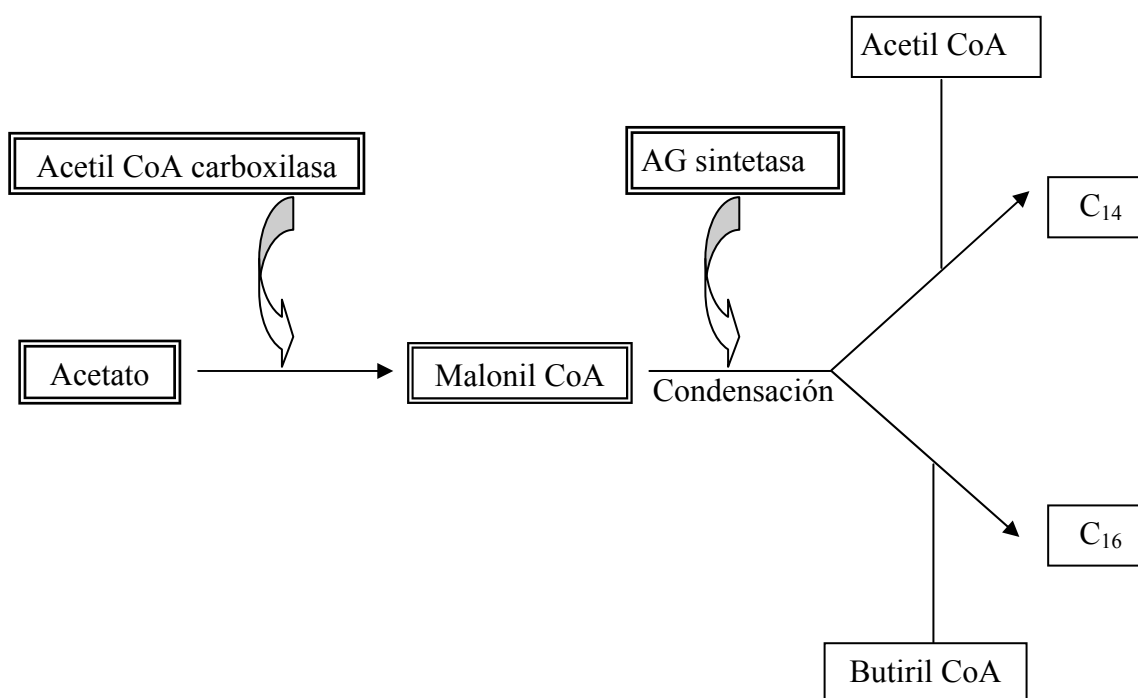


Figura RB.5.3. Síntesis *de novo* de los ácidos grasos y enzimas involucradas: ejemplo del acetato (adaptado de Chilliard *et al.*, 2001a).

El primer paso es formar malonil-CoA, catalizado por la acetil-CoA carboxilasa- α (ACC- α). Esta enzima se expresa en todos los tejidos, pero se encuentra inducida en los tejidos lipogénicos. Durante la lactación, el gen de la ACC- α incrementa su

expresión en la glándula mamaria y actúa facilitando la liberación de precursores de ácidos grasos hacia esta glándula, reprimiendo su actividad en el tejido adiposo.

El segundo paso es la conversión de acetil-CoA y malonil-CoA a palmitato, catalizado por la sintasa de ácidos grasos (FAS) compleja. La Sintasa de ácidos grasos es un complejo enzimático que se encarga de la elongación de los ácidos grasos.

6. MEJORA GENÉTICA DE LA COMPOSICION DE LA LECHE.

Las herramientas tecnológicas actualmente disponibles para la mejora genética animal permiten modificar las principales características de las distintas poblaciones, posibilitando mejorar la eficiencia de los procesos productivos y aumentar la rentabilidad de las empresas pecuarias (Ravagnolo *et al.*, 2006).

En las especies productoras de leche, los programas de mejora genética aplicados están encaminados prioritariamente a la mejora de la cantidad y la calidad de la leche. En las fases iniciales, los programas se diseñan para mejorar la cantidad, pero rápidamente entre los objetivos de selección se incluyó el rendimiento tecnológico de la leche, fundamentalmente la concentración de proteína y grasa, para la elaboración, en el caso del ganado ovino, de queso (Barillet *et al.*, 1994).

Los caracteres lecheros, se miden actualmente sobre un gran número de animales de forma rutinaria, a través del control lechero, a costes aceptables (control lechero simplificado). Generalmente se consideran la cantidad de leche y los contenidos en materia grasa y/o proteica.

Sin embargo, en estos últimos años se están investigando otros caracteres como: recuento de células somáticas, longevidad, morfología mamaria y corporal, composición en ácidos grasos, etc. Según Stoop *et al.* (2008), los resultados obtenidos en ganado vacuno, en relación con la composición en ácidos grasos de la grasa láctea, permiten concluir que es posible alterarla a través de la mejora genética.

La decisión de incorporar un carácter en concreto a los objetivos de selección de un programa de mejora, depende de dos factores, interés económico del carácter y parámetros genéticos. Para gran parte de los caracteres de interés, su baja heredabilidad ha sido el factor que ha determinado su descarte como objetivo de selección.

Respecto a la mejora del perfil de ácidos grasos en la leche se han propuesto dos grandes estrategias, vía alimentación y/o vía mejora genética. Son abundantes los estudios que han tratado de modificar el perfil de los AG mediante la alimentación (Beaulieu *et al.*, 1995, Gomez-Cortés *et al.*, 2008) para obtener una composición lipídica más deseable para la salud humana (Chilliard *et al.*, 2000). Sin embargo, son pocas las investigaciones sobre la modificación del perfil de AG vía mejora genética. Karijord *et al.*, (1982); Palmquist *et al.*, (1993); Soyeurt *et al.*, (2006a y 2007) Stoop *et*

al., (2008); Bobe *et al.* (2008); Mele *et al.* (2009) son algunos de los que han sugerido la posibilidad de modificar genéticamente el perfil de los ácidos grasos.

La selección encaminada a mejorar los perfiles de los AG sería factible sólo si existe suficiente variación genética en la composición lipídica. Gibson (1995) menciona que la eficacia de la mejora genética requiere variación genética, un mecanismo de selección y un incentivo económico para la mejora.

6.1. Parámetros genéticos de los caracteres lecheros.

La estimación de los parámetros genéticos heredabilidad y correlaciones genéticas, requiere datos suficientes para obtener estimaciones fiables. En lo que se refiere a caracteres relacionados con la cantidad de leche o con su composición bromatológica, la bibliografía es amplia y precisa. Sin embargo, para los caracteres que cuantifican el perfil de los ácidos grasos la bibliografía es escasa o prácticamente nula en lo referente al ganado ovino.

Muchos estudios han utilizado los datos de cromatografía para la cuantificación de los AGs y para estimar las heredabilidades de la concentración de ácidos grasos en la leche y la grasa (Renner y Kosmack, 1974; Karijord *et al.*, 1982), un método de cuantificación considerado exacto y fiable (Collomb y Bühler, 2000), pero que requiere mucho tiempo y económicamente es muy costoso (los reactivos son caros, y exige personal cualificado). Por lo tanto, estos estudios han sido, en general, limitados en el número de animales y de muestras analizadas.

A) Repetibilidad.

El primer parámetro de interés es la repetibilidad “correlación promedio entre registros de producción del mismo animal”, pues este parámetro determina la estrategia del control de rendimientos en los programas de selección.

Trabajos realizados por Carriedo *et al.* (1995), estudiando la repetibilidad de la producción lechera en la raza Churra, calculan una correlación de 0,44 entre lactaciones sucesivas. Delacroix-Buchet *et al.*, (1994), aportan un valor del mismo orden para la repetibilidad de las medidas bimensuales sucesivas, en el seno de una misma lactación, para la oveja de raza Lacaune (7 dobles medidas desde el día 60 al 220 de lactación). Según los mismos autores, la composición de la leche o sus contenidos en

materias grasa (%G) y proteína (%P) por una parte y el tiempo de gelificación y la firmeza de los geles por otra, representan coeficientes de repetibilidad comparables y elevados (Tabla RB.6.1); del orden de 0,55.

Ramón *et al.* (2006), han obtenido para los distintos caracteres lecheros en la raza Manchega, valores de repetibilidad similares a las obtenidas en otras razas. Así, los valores obtenidos fueron de 0,36-0,38, 0,14-0,17 y 0,40-0,43 en Manchega y de 0,40, 0,21, y 0,38 en Churra (Othmane *et al.*, 2002c) para los caracteres *leche120*, *%G120* y *%P120*, respectivamente. En un estudio realizado sobre la oveja Valle del Belice, Cappio-Borlido *et al.* (1997) han encontrado coeficientes de repetibilidad de 0,45; 0,30 y 0,33 para la cantidad de leche, el %G y el %P, respectivamente.

Tabla RB.6.1. Repetibilidad (en la diagonal) y correlaciones fenotípicas (encima de la diagonal) entre los parámetros reológicos y las características físico-químicas de la leche de ovejas Lacaune.

<i>Variable</i>	<i>R</i>	<i>F</i>	<i>pH</i>	<i>%G</i>	<i>%P</i>	<i>%G/%P</i>	<i>Leche</i>
Tiempo de gel. (R)	0,57	0,28	0,70**	0,32	0,46	0,10	-0,32
Firmeza a 2xR (F)		0,53	-0,09	0,27	0,59**	-0,07	-0,20
PH			0,35	-0,12	-0,05	-0,10	-0,10
Contenido graso (%G)				0,57	0,72 **	0,62 **	-0,43 *
Contenido proteico (%P)					0,67	0,12	-0,45*
%G/%P						0,19	-0,21
Leche							0,44

Fuente: Delacroix-Buchet *et al.* (1994), ** P < 0,001; * P < 0,01.

Estudios realizados por Carta *et al.* (2008), sobre las estimaciones de repetibilidad para la concentración de AGs en leche de oveja mostraron gran variabilidad, oscilando entre un 14,1% para el C_{18:3} y un 57,3% para el C_{4:0}.

B) Heredabilidad.

b1) Heredabilidad de los componentes de la leche.

Los coeficientes de heredabilidad de los componentes de la leche ovina han sido estimados por diferentes métodos y en diferentes razas (Boyazoglu, 1963; Carriedo y San Primitivo, 1982; Barillet y Roussely, 1987; Barillet *et al.*, 1994, Barillet, 1995; Baro *et al.*, 1994; Carriedo *et al.*, 1995; Casu *et al.*, 1975, Jurado *et al.*, 1995; Barillet *et*

al., 1999; Serrano *et al.*, 2001). En la Tabla RB.6.2 se presentan una muestra de estas estimaciones.

Tabla RB.6.2: Estimación de la heredabilidad para producción de leche, kg de grasa, kg de proteína y porcentajes de grasa y proteína en diferentes razas europeas de ganado ovino de leche.

<i>Variable</i>	<i>Raza</i>				
	<i>Churra</i>	<i>Lacaune</i>	<i>Latxa</i>	<i>Manchega</i>	<i>Sarda</i>
Leche	0,23	0,30	0,21	0,28	0,30
Kg. de grasa	-	0,28	0,17	-	0,24
Kg. de proteína	-	0,29	0,18	-	0,26
% de grasa	0,08	0,35	0,17	0,23	0,48
% de proteína	0,28	0,46	0,47	0,35	0,55

Fuente: Barillet *et al.* (1997); Jurado *et al.* (1997); Sanna *et al.* (1997); Othamane (2000); Legarra y Ugarte (2001).

Los valores habitualmente observados son semejantes y comparables a las mismas variables en el ganado vacuno lechero. Globalmente, se destaca que, en producción lechera como en otras producciones animales, los caracteres relativos a la cantidad tienen una menor heredabilidad que los relativos a la calidad. Los coeficientes de heredabilidad relativos a las cantidades se sitúan en torno a 0,30. Los porcentajes de grasa (%G) y proteína (%P) son más heredables, con una heredabilidad media sobre 0,40 tanto en los ovinos como en los bovinos (Seegers y Grimard-Ballif, 1994).

La heredabilidad para el mismo carácter puede variar según la raza, la población sobre la que estima y la forma de medir el carácter. Cappelletti (1998) estima una heredabilidad de 0,25 para la producción lechera en la raza Churra y Baro *et al.* (1994) en la misma raza (0,35). Gabiña *et al.* (1989) han encontrado heredabilidades, para la misma variable, de 0,13, 0,28 y 0,20 para ovejas de 1, 2 y 3 años, respectivamente. Se ha observado también, que la heredabilidad de la producción lechera total (estandarizada o no) es superior a la obtenida para la cantidad de leche producida el día del control (Barillet *et al.*, 1999; Cappelletti, 1998; El-Saied *et al.*, 1998a y 1999).

Utilizando un modelo multicarácter para controles mensuales, Serrano *et al.* (2001) han encontrado, en ovejas primíparas de raza Manchega, heredabilidades de la producción lechera que oscilan entre 0,15 y 0,18. Barillet *et al.* (1999) y Cappelletti

(1998) han aportado valores ligeramente superiores sobre ovejas Lacaune y Churra (0,19 a 0,30) sin que exista una tendencia clara de las heredabilidades en el curso de la lactación.

Se puede observar que, en general, las heredabilidades son medias para los caracteres de producción y altas para los caracteres de composición, aunque llama la atención que en las razas españolas las heredabilidades correspondientes para estos caracteres son claramente inferiores. Estas bajas estimaciones podrían deberse a la existencia de una mayor variabilidad, asociada al método de estimación de la medida lactacional, que se basa en muestreos parciales a lo largo de la lactación (Ugarte *et al.*, 2003).

En la tabla siguiente (Tabla RB.6.3) se muestran los valores de heredabilidad encontrados para el recuento de células somáticas en diferentes razas.

Tabla RB.6.3. Estimación de heredabilidad para recuento de células somáticas obtenidas en diferentes razas europeas ovinas de leche.

<i>Variable</i>	<i>Raza</i>			
	<i>Churra</i>	<i>Lacaune</i>	<i>Latxa</i>	<i>Manchega</i>
RCS (media lactacional)	0,12	0,15	0,10	0,04
RCS (test-day)	0,11	0,08	-	-

Fuente: Othmane (2000); Barillet *et al.* (2001); Serrano *et al.* (2002); Ugarte y Legarra (2003).

Existen pocas estimaciones de la heredabilidad del recuento de células somáticas, siendo bajos la mayor parte de los valores obtenidos hasta el momento. No obstante, se observan claras diferencias, que parecen estar relacionadas con el nivel de infección de la ubre ovina. En efecto, San Primitivo *et al.* (1998) y El-Saied *et al.* (1998a) han obtenido valores más elevados para ovejas infectadas (0,09 a 0,12) que para ovejas sanas (utilizando como umbral 250×10^3 células/ml), con valores muy bajos, casi nulos (0,03), aunque obtenidos con un reducido número de animales.

Barillet *et al.* (1999) han observado una heredabilidad más elevada de la concentración de células somáticas en la leche de lactaciones totales, que utilizando datos procedentes de controles mensuales, observación que confirma los resultados de San Primitivo *et al.* (1998). Además las estimaciones de heredabilidad aumentan

considerablemente hacia el final de la lactación, cuando la concentración celular en la leche es más elevada. Aunque es habitual el uso de una medida lactacional, los estudios realizados en este sentido (El-Saied *et al.*, 1998a; Barillet *et al.*, 2001; Serrano *et al.*, 2002) indican la conveniencia y ventaja de trabajar con los modelos que contemplan los datos control a control en lugar de una media lactacional.

b2) Heredabilidad del perfil de los ácidos grasos de la leche

Si bien varios autores han realizado publicaciones sobre el perfil de ácidos grasos en la leche, hasta ahora, muy pocos estudios han estimado los parámetros genéticos de estos caracteres en ganado ovino. Las estimaciones de parámetros genéticos publicados en la bibliografía se refieren al ganado vacuno (Stoop *et al.*, 2008, Bobe *et al.*, 2008, Mele *et al.*, 2009, Soyeurt *et al.*, 2007) y, por el interés que tienen y por la actualidad que exhiben, se analizan los resultados obtenidos. No obstante, las estimaciones publicadas son muy variables (Tabla RB.6.4).

Tabla RB.6.4. Heredabilidades (h^2) estimadas de la proporción de AG en diferentes publicaciones en ganado vacuno.

Variable	Stoop ¹	Bobe ²	Mele ³	Soyeurt ⁴
C _{4:0}	0,42	0,00		
C _{6:0}	0,46	0,00		
C _{8:0}	0,61	0,18		
C _{10:0}	0,71	0,22		
C _{12:0}	0,63	0,18		0,09
C _{14:0}	0,59	0,00	0,07	0,19
C _{16:0}	0,43	0,09	0,03	0,20
C _{18:0}	0,23	0,24	0,14	0,28
C _{18:1c9}	0,25	0,06	0,17	0,15
C _{18:1t11}	0,28		0,12	
C _{18:2}	0,26	0,00		
C _{18:2 cis9,trans-11 (CLA)}	0,46		0,12	0,15
C _{18:3}	0,26			
AGS		0,05		0,14
AGMI		0,08	0,14	0,24
AGPI		0,00		

Fuente: (1) Stoop *et al.* (2008); (2) Bobe *et al.* (2008); (3) Mele *et al.* (2009); (4) Soyeurt *et al.* (2007).

Uno de los primeros estudios sobre la variabilidad genética en el perfil de ácidos grasos en la leche fue realizado por Edwards *et al.* (1973) en ganado vacuno, quien observó valores muy altos que oscilaron entre 0,64 a 0,98. Pocos años más tarde, Renner and Kosmack (1974) han obtenido estimaciones de heredabilidades del orden de 0,26, 0,06, y 0,04 para el contenido de AG de cadena corta (C_{4:0}- C_{10:0}) y cadena mediana (C_{12:0} a C_{16:0}) y para la familia C_{18:0} en la grasa corporal, respectivamente, y estimaciones de 0,26, 0,25, y 0,02 para los contenidos en AG de cadena corta y mediana y para la familia de los C_{18:0}, en la grasa de la leche, respectivamente.

Las heredabilidades estimadas por Karijord *et al.* (1982), fueron diferentes, a las observadas por Renner and Kosmack (1974), obteniendo valores promedios, de 0,13, 0,14, y 0,10 para los ácidos grasos de cadena corta (C_{4:0} – C_{10:0}), mediana (C_{12:0} a C_{16:0}) y en la familia de los poliinsaturados (C_{18:0}), respectivamente.

Estudios realizados por Royal *et al.* (2005), han demostrado valores de heredabilidad igual a 0,30, 0,01, 0,19 y 0,29 para las relaciones C_{14:1} / (C_{14:0}+C_{14:1}), C_{16:1} / (C_{16:0} + C_{16:1}), C_{18:1 cis-9} / (C_{18:1 cis-9} + C_{18:0}) y C_{18:2 cis-9 trans-11} / (C_{18:2 cis-9, trans-11} + C_{18:1 trans-11}), respectivamente.

Tabla RB.6.5. Heredabilidades (h²) estimadas de los ácidos grasos individuales presentes en la carne ovina.

Variable	Media (%)	h ²	Se
C _{16:0}	22,79	0,50	0,15
C _{18:0}	24,01	0,44	0,14
C _{18:1t9}	2,28	0,10	0,10
C _{18:1t11}	1,05	0,03	0,08
C _{18:1c9}	38,89	0,64	0,15
C _{18:2c7}	0,60	0,01	0,07
C _{18:2}	2,57	0,18	0,10
C _{18:2 cis9,trans-11 (CLA)}	0,86	0,37	0,14
C _{18:3}	0,76	0,32	0,13
AGS	51,34	0,44	0,14
AGI	48,65	0,44	0,14
Total ω-3	0,93	0,16	0,11
EPA	0,08	0,17	0,18
DPA	0,13	0,21	0,12

Fuente: Greeff *et al.* (2006); EPA: A. eicosapentaenoico (C_{20:5}); DPA: A. docosapentaenoico (C_{22:5ω6})

Respecto a las **heredabilidades del perfil de los AGs en la carne**, Greeff *et al.* (2006) publica estimaciones de la proporción del total de ácidos grasos presentes en la carne ovina, (Tabla RB.6.5).

C) Correlaciones genéticas.

Las correlaciones genéticas entre los distintos AG, así como entre estos y los caracteres de producción láctea, son interesantes en cuanto que permiten predecir las respuestas correlacionadas a la selección entre unos y otros caracteres. Este apartado de correlaciones genéticas lo abordaremos en tres partes: a) correlaciones genéticas entre los caracteres de producción láctea, b) entre los caracteres de concentración de AG en la leche, y c) entre los de producción láctea y la concentración de AG.

c1) Correlaciones genéticas de los caracteres lácteos.

Los 5 caracteres más importantes de producción láctea son: cantidad de leche (CL), rendimiento de la grasa (% G), rendimiento proteico (% P), cantidad de grasa (CG) y cantidad de proteína (CP). La relación entre estos caracteres es muy clara y ha sido ampliamente documentada en las tres especies de carácter lechero: vaca, oveja y cabra (Barillet, 1985, Barillet *et al.*, 1986, Seegers y Grimard-Ballif, 1994)

En primer lugar existe un antagonismo genético entre los caracteres de cantidad (CL, CG y CP) con los caracteres de rendimiento (% G y % P). Por otra parte, se describen correlaciones positivas entre los tres caracteres de cantidad y entre los dos caracteres de rendimiento (% G y % P).

En la raza Lacaune se confirma que la correlación genética entre la CL y el %P es superior ($-0,5 < r_G < -0,3$) a la existente entre la CL y el %G ($-0,3 < r_G < -0,2$) (Barillet, 1985; Barillet y Roussely, 1986; Barillet *et al.*, 1994; Barillet, 1997; Barillet *et al.*, 1999). Por otra parte, los porcentajes de grasa y proteína están fuertemente correlacionados genéticamente (Casu *et al.*, 1975; Barillet y Roussely, 1986) y fenotípicamente (Barillet *et al.*, 1986; Delacroix-Buchet *et al.*, 1994) presentando valores muy elevados ($r_G \approx 0,84$; $r_P \approx 0,7$). Otro tanto sucede con las correlaciones entre CG y CP, generalmente comprendidas entre 0,75 y 0,9 (Barillet y Roussely, 1986). Se

puede, por lo tanto, deducir que toda selección sobre una de las cantidades, al igual que para los porcentajes, producirá un progreso indirecto importante sobre el resto.

Respecto a otros caracteres como el RCS en leche y la cantidad de leche son muy variables aunque próximas a cero (Barillet *et al.*, 1999, Baro *et al.*, 1994; Gonzalo *et al.*, 1994; Lagriffoul *et al.*, 1996; Barillet *et al.*, 1999).

c2) Correlaciones entre las concentraciones de ácidos grasos de la leche.

Las correlaciones genéticas reflejan el origen de los ácidos grasos y los procesos fisiológicos involucrados en su producción. En consecuencia, los valores de las correlaciones genéticas se pueden interpretar biológicamente (Bobe *et al.*, 1999) y se pueden explicar por las similitudes en su origen, es decir se sintetizan “de novo” o pasan de la sangre a la leche.

Karijord *et al.* (1982) estimaron las correlaciones genéticas entre el contenido de los principales ácidos grasos, que se presentan en la tabla RB.6.6 y Soyeurt *et al.* (2007) las que se presentan en la tabla RB.6.7.

Tabla RB.6.6. Correlaciones genéticas entre los ácidos grasos mayoritarios en la leche de vaca (n = 7000 muestras).

	C _{6:0}	C _{8:0}	C _{10:0}	C _{12:0}	C _{14:0}	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}
C _{8:0}	0,89												
C _{10:0}	0,70	0,93											
C _{12:0}	0,59	0,88	0,97										
C _{14:0}	0,48	0,71	0,80	0,84									
C _{14:1}	-0,03	0,12	0,01	0,21	0,10								
C _{15:0}	-0,20	-0,07	-0,05	0,01	0,06	0,11							
C _{16:0}	-0,25	-0,38	-0,35	-0,30	-0,27	0,01	-0,22						
C _{16:1}	-0,28	-0,29	-0,29	-0,21	-0,32	0,32	-0,49	0,46					
C _{17:0}	0,08	0,17	0,15	0,17	0,28	0,11	0,77	-0,36	-0,60				
C _{18:0}	0,22	0,10	0,10	-0,08	-0,01	-0,58	0,26	-0,49	-0,70	0,33			
C _{18:1}	-0,57	-0,60	-0,68	-0,63	-0,65	0,12	0,04	-0,28	0,25	-0,08	-0,14		
C _{18:2}	-0,02	-0,05	-0,19	-0,20	-0,38	0,11	-0,59	-0,30	-0,12	-0,13	-0,07	0,61	
C _{18:3}	-0,38	-0,35	-0,48	-0,39	-0,52	0,39	0,25	-0,23	0,29	-0,09	-0,30	0,84	0,65

Fuente: Karijord *et al.* (1982).

Estas correlaciones son muy variables, oscilando entre -0,68 y 0,97. En general, las correlaciones genéticas positivas se observaron entre los ácidos grasos que pertenecen a la misma familia y negativas entre los que pertenecen a clases distintas, los saturados e insaturados. Se establecen, siguiendo estos criterios, tres grupos: saturados, monoinsaturados y poliinsaturados.

Tabla RB.6.7. Correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y fenotípicas (debajo de la diagonal) entre los caracteres lecheros, leche (Kg/día), % Grasa, % Proteína, los grupos lipídicos (AGS, AGMI y AGPI) y los ácidos grasos de la leche (g/100g de leche).

<i>Variable</i>	Ldía	CG	CP	AGS	AGMI	C_{12:0}	C_{14:0}	C_{16:0}	C_{18:0}	C_{18:1}	C_{18:2}
Ldía (Kg)		-0,35	-0,47	-0,09	0,22	-0,34	-0,22	0,01	-0,28	-0,39	-0,28
CG (%)	-0,18		0,63	0,76	-0,22	0,55	-0,06	0,60	0,84	-0,78	-0,37
CP (%)	-0,32	0,38		0,51	-0,34	0,77	0,15	0,20	0,52	-0,59	-0,02
AGS	0,04	0,13	0,21		-0,44	0,67	0,37	0,55	0,66	-0,90	-0,66
AGMI	-0,06	0,03	-0,18	-0,73		-0,70	-0,84	-0,34	-0,44	0,67	0,67
C_{12:0}	0,00	-0,03	0,37	0,75	-0,84		0,60	0,20	0,52	-0,78	-0,54
C_{14:0}	0,09	-0,19	0,11	0,65	-0,90	0,84		0,00	0,10	-0,46	-0,68
C_{16:0}	-0,03	0,10	0,05	0,44	-0,23	0,16	0,12		0,61	-0,62	-0,28
C_{18:0}	0,00	0,65	0,23	0,30	0,24	0,11	0,01	0,29		-0,78	-0,38
C_{18:1}	-0,03	-0,13	-0,27	0,93	0,83	-0,85	-0,73	-0,47	-0,33		0,70
C_{18:2}	-0,10	-0,23	0,21	-0,50	0,53	-0,34	-0,50	-0,23	-0,32	0,53	

Fuente: Soyeurt *et al.* (2007).

Según Chilliard *et al.*, 2001a, los AG sintetizados en la glándula mamaria por la síntesis “*de novo*” (C_{4:0} a C_{14:0}), están correlacionados y, en su síntesis, intervienen las enzimas, acetil-coenzima A carboxilasa y sintasa de ácidos grasos. Estudios realizados por Stoop *et al.* (2008), han revelado que los ácidos grasos comprendidos entre el C_{6:0} y el C_{14:0} se correlacionaron positivamente (0,34 a 0,96), con una débil correlación de 0,08 para el C_{6:0} y C_{14:0}.

Otro grupo muy correlacionado positivamente son los C₁₈ insaturados (Stoop *et al.*, 2008) entre 0,25 y 0,99, con una débil correlación de 0,12 para el C_{18:1 cis-9} con C_{18:1 trans-11}. Los referidos AG, se extraen de la sangre, y participan en escasa medida en los procesos de la biohidrogenación (Bobe *et al.*, 1999).

c3) Correlaciones entre los ácidos grasos y los caracteres de producción láctea.

Renner y Kosmack (1974) fueron los primeros en estimar la correlación genética entre los diferentes ácidos grasos de la leche y los caracteres de producción láctea. Los primeros resultados estimados permitieron detectar la escasa relación entre los AG y la cantidad de leche. Sólo el contenido en AG con cadenas de carbono cortas ($<C_{12:0}$) en la leche, parece exhibir una correlación positiva con la producción de leche (0,24). Ya Karijord *et al.* (1982) estudiaron la correlación genética entre el contenido de los AG y % proteína, % de grasa, y kg de leche obteniendo correlaciones genéticas cercanas a 0.

Las correlaciones genéticas positivas, oscilaron entre 0,11 y 0,24 y se obtuvieron entre los ácidos grasos saturados y la producción de leche, a excepción de $C_{15:0}$ y $C_{16:0}$ (-0,58 y -0,14, respectivamente). Las correlaciones genéticas negativas se encontraron entre los ácidos grasos insaturados y la producción de leche y oscilaron entre -0,11 y -0,35, a excepción de $C_{18:2}$ (0,35).

Soyeurt *et al.* (2007) han estimado las correlaciones genéticas entre los AG en la leche bovina, (Tabla RB.6.7). Las correlaciones genéticas entre la producción de leche y los ácidos grasos fueron todas negativas excepto con los AGMI que fueron positivas, si bien la magnitud de la correlación genética fue baja (0,22). Con relación a la CG% y CP% las correlaciones fueron positivas con las AGS y negativas con los AGI, y en este caso las magnitudes fueron mayores.

Los AGs tienden a estar negativamente correlacionados con la cantidad de leche y menos con los AGMI, por ello teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Soyeurt *et al.* (2007), se espera que la selección genética aplicada en la mayor cantidad de leche aumente el contenido de materia grasa monoinsaturada y la selección a favor del CG y CP incrementará, vía respuesta correlacionada, los AGS frente a los AGI.

Según el mismo autor, el % de grasa estuvo negativamente correlacionado con los AGMI y con $C_{18:2}$ y positivamente con los AGS. Así, se concluye que la selección genética para un mayor porcentaje de materia grasa aumentaría casi todos los AGS y disminuiría ligeramente los AGMI y $C_{18:2}$. Sin embargo, todos los AGS no parecen mostrar la misma respuesta al aumento de la grasa. El porcentaje de grasa presentó una correlación genética elevada (0,84) con $C_{18:0}$ y más moderada (0,55) con $C_{12:0}$. Estas observaciones podrían explicarse por la variación de la actividad de la enzima Δ^9 -

desaturasa (Lock y Garnsworthy, 2003; Soyeurt *et al.* 2006a). De la misma manera, los resultados obtenidos con el contenido en ácido mirístico ($C_{14:0}$) de la leche, se han revelado interesantes. Según Soyeurt *et al.* (2006a), la correlación genética entre $C_{14:0}$ y el porcentaje de grasa, está próxima a cero, y la fenotípica es baja y negativa (-0,19). Además, el $C_{14:0}$ resultó muy negativamente correlacionada con los AGMI (-0,84).

DISEÑO EXPERIMENTAL

El objetivo de esta tesis doctoral es el análisis de la variabilidad fenotípica y genética del contenido o concentración de ácidos grasos de la leche. Para ello se ha diseñado la elaboración-recopilación de una base de datos productivos y genealógicos que posteriormente nos permita analizar dicha variabilidad y estimar los parámetros genéticos de los caracteres de composición grasa, especialmente el CLA.

Para diseñar la toma de muestras y el posterior análisis de las muestras de la base de datos fundamental (base asociada a la denominada experiencia III) era necesario conocer la repetibilidad analítica y temporal de estas variables (concentración de los ácidos grasos) por lo que se desarrollaron dos experiencias previas, experiencia I y experiencia II.

Así pues el diseño experimental está estructurado en tres experiencias con la siguiente denominación:

- a) Experiencia I: Estimación de la repetibilidad analítica del contenido en ácidos grasos en la leche.
- b) Experiencia II: Estimación de la repetibilidad temporal del contenido en ácidos grasos en la leche.
- c) Experiencia III: Análisis de la variabilidad genética y estimación de parámetros genéticos de la concentración de ácidos grasos en la leche.

Las tres experiencias se han desarrollado en rebaños de ovejas de raza Churra adscritas al núcleo de selección de la raza y por lo tanto con los efectivos inscritos en el libro genealógico.

1. EXPERIENCIA I: Estimación de la repetibilidad analítica del contenido en ácidos grasos en la leche.

El objetivo de esta experiencia es estimar la fiabilidad o precisión en la estimación de cada uno de los ácidos grasos de la leche, sobre todo de aquellos que se encuentran en menor concentración, con la finalidad de responder a la pregunta ¿Qué ácidos grasos analizamos-cuantificamos? Nuestro interés era estudiar solo aquellos en los cuales la técnica analítica, cromatografía gaseosa, nos garantizase una fiabilidad razonable. La

precisión de cada uno de los ácidos grasos depende, además de la técnica utilizada para su identificación, de la concentración del ácido graso a determinar.

Los ácidos grasos de la leche son numerosos; cuantificar la concentración de aquellos que se encuentran en mayor proporción es factible, butírico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico, etc. Sin embargo, estamos interesados en comprobar hasta que punto las técnicas cromatográficas son capaces de estimar con precisión aquellos ácidos que se encuentran en menor concentración.

Para lograr dicho objetivo nos proponemos estimar la fiabilidad de la metodología para 36 AGs a través de lo que denominamos repetibilidad analítica, es decir, la repetibilidad del análisis de alícuotas de la misma muestra de leche. Se han tomado 12 muestras de leche, procedente de 12 ovejas, y posteriormente se han realizado 10 réplicas del análisis de cada muestra.

2. EXPERIENCIA II: Estimación de la repetibilidad temporal del contenido en ácidos grasos en la leche.

El objetivo de esta experiencia fue estimar la repetibilidad temporal: diaria, semanal y mensual de la composición de ácidos grasos en leche de oveja, con la finalidad de responder a la segunda pregunta ¿ Cuántas muestras debemos analizar de cada oveja para estimar su valor fenotípico? y ¿ En qué momento? La finalidad es optimizar las condiciones de muestreo de la experiencia fundamental o experiencia III.

El perfil de ácidos grasos de la leche de los rumiantes está influenciado fundamentalmente por dos factores: la composición de la dieta y el genotipo del animal. Sin embargo, existen otras variaciones temporales, (hora del día, semana y mes de lactación, etc.), que también influyen sobre dicha concentración a través de una lactación y que pueden distorsionar el valor fenotípico individual.

Para lograr dicho objetivo se han tomado 596 muestras de leche procedentes de 32 ovejas a lo largo de una lactación, en diferentes horas, días, semanas y meses, que nos permitirá estimar la repetibilidad temporal.

3. EXPERIENCIA III: Análisis de la variabilidad genética y estimación de parámetros genéticos de la concentración de ácidos grasos en la leche.

El objetivo de esta experiencia es estimar los parámetros genéticos de los caracteres de concentración de AG de la leche de ovejas de raza Churra con la finalidad de contrastar a la hipótesis de que el perfil de los AGs se puede mejorar por selección, poniendo el mayor énfasis en el contenido en CLA. El conocimiento de los parámetros genéticos y los factores de variación asociados, nos permite valorar las posibilidades de mejora genética por selección de cada uno de los caracteres asociados a los ácidos grasos de la leche.

El primer paso ha sido la elaboración de una base de datos a partir de registros productivos y genealógicos, que permitirá analizar la variabilidad genética a través de la estimación de la heredabilidad y las correlaciones genéticas de los AGs y con otros caracteres de interés.

Se ha realizado un diseño factorial, es decir, la toma de muestras de 1078 ovejas hijas de 15 sementales distribuidas en 14 rebaños, con la finalidad de disponer de una base de datos que permita estimar con eficiencia los factores de variación, rebaño, edad de la oveja, fase de lactación, etc., sobre la concentración de AG, y estimar eficientemente los parámetros genéticos citados.

Esta población de ovejas se ha muestreado durante al menos dos lactaciones, desde Enero de 2006 hasta Junio de 2007, a través de la toma de muestras de leche procedentes del control lechero oficial.

La distribución de las 1078 ovejas en los 14 rebaños se presenta en la Tabla D.1

Tabla D.1 - Distribución de las ovejas muestreadas por semental y ganadería

Semental	Total Hijas	Ganaderías participantes													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
BR10330	69	10		5	4	5	10	4		3	1	8	5	7	5
BR10432	62			1	7	2	17	2		6	2	10	8	3	
BR10448	34		15			2		1	3	3		5	2		3
GE10117	65	17		1	16	9		3		6	1	1	6	2	3
GE10214	177	28	36	1	15	7	23	5	9	3	4	13	11	3	10
GE10252	85	12	1	3	13	1	9	4	2	12	6	10	1	1	5
GE10353	41	6		3	7		2	6		4		3	9	1	
GE10362	44	14			10	4		1		4	3	2	1	1	1
GE10363	139	35	14	5	5	2	20	7	13	10	1	7	3	6	6
GE85589	70	20	10	1		2	1	3	6	3		5	5	2	7
IJ10492	47	12	8		2	2		5	4	7			2	2	3
PI10219	72		8	9	2	8	12	4	3	4	2	9		4	3
SE10292	57	7		1	6	5	4	3	4	2	3	5	2	3	8
SW10056	77	19	6	2	7	1	8	2	6	8	5	6	3	2	
VS10303	67	15		3	2	7	4	4	10	2	7	2	1	1	4
TOTAL	1078	195	98	24	41	31	51	35	46	44	21	39	26	22	32

MATERIAL Y MÉTODOS

1. METODOLOGÍA GENERAL

En este apartado se describen los aspectos metodológicos comunes a las tres experiencias, fundamentalmente, la toma de muestras de leche y el análisis de la grasa en el laboratorio para la cuantificación de la concentración de ácidos grasos.

1.1. Toma de Muestras de leche.

Las muestras se tomaron en el momento del ordeño, mañana o tarde según la experiencia, en botes estériles de 50 ml (Figura M.1.2) a las que se añadieron una pastilla de Bronopol. Para las experiencias I y II se utilizaron las ovejas de la Granja Experimental de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de León (Figura M.1.1).

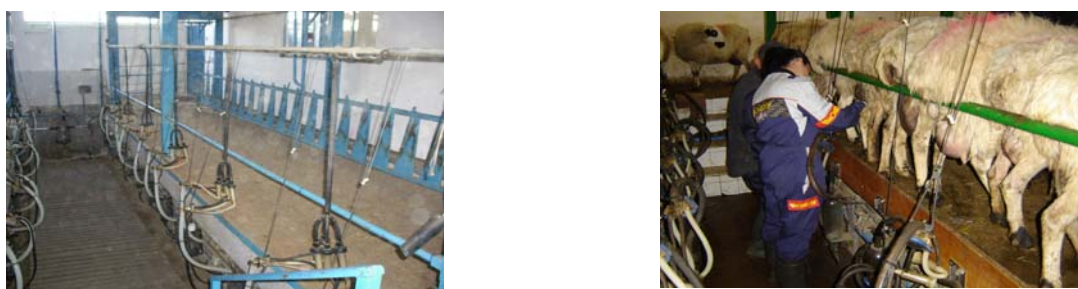


Figura M.1.1. Estación experimental de la ULE.

A continuación fueron transportadas en refrigeración (neveras isotérmicas a 4°C) (Figura M.1.3) y llevadas inmediatamente al laboratorio del Departamento de Tecnología y Higiene de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de León, para su posterior análisis. Las muestras se almacenaron a -20°C.



Figura M.1.2. Bote estéril de recogida de muestras, 50 ml.



Figura M.1.3 Refrigeración de las muestras.

1.2. Metodología Laboratorial.

La secuencia de trabajo fue la siguiente:

- A. Extracción de la grasa de la leche,
- B. Metilación de los ácidos grasos,
- C. Análisis de los ésteres metílicos de los ácidos grasos por la técnica de cromatografía de gases

A) Extracción de la grasa de la leche.

A la vista de las diferentes opciones descritas se ha decidido optar por el método *Bligh and Dyer* (Bligh and Dyer, 1959) con ciertos cambios que describimos. Se añadió ácido undecanóico ($C_{11:0}$), como patrón interno (*Sigma - Aldrich St. Louis, USA*). Elegimos el $C_{11:0}$ para la cuantificación en nuestro trabajo, ya que otros como el $C_{19:0}$ y el $C_{21:0}$ eran más difíciles de aislar debido a su proximidad con otros ácidos grasos presentes en la leche. La presencia de un patrón interno en nuestro caso, y en otros descritos (Zlatanov *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2005), no tienen efectos cuantitativos para los ácidos grasos y se utiliza para verificar pérdidas durante el proceso de extracción de la grasa.

Procedimiento de extracción de la grasa:

La primera acción fue la homogeneización de la muestra al baño maría a 42°C , durante 20 minutos, agitando suavemente (Figura M.1.4).

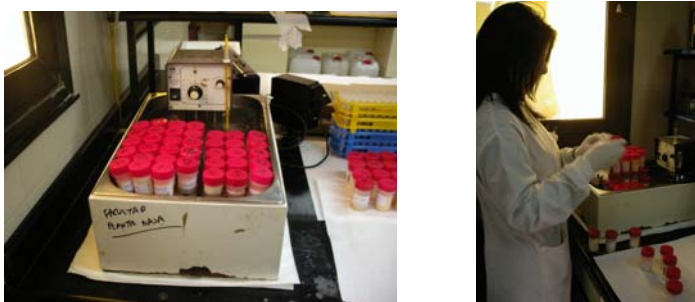


Figura M.1.4. Homogeneización de la muestra de leche.

Posteriormente se transvasaba 1 ml de leche a tubos de ensayo en el cual se agregó 1 ml de patrón interno ($C_{11:0}$), 2 ml de metanol, 1 ml de cloroformo y se dejó en agitación durante 30 segundos entre cada reactivo. A continuación se agregó 1 ml de

solución de NaCl 2M. Se agitó en el agitador de tubos **Autovortex SA5** (*Stuart Scientific, Redhill, Reino Unido*), durante 30 segundos.

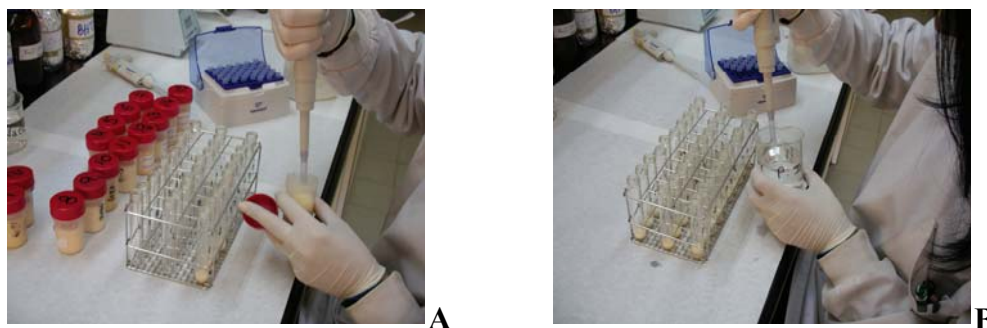


Figura M.1.5. Extracción de la grasa láctea: Leche añadida (A); El estándar interno ($C_{11:0}$) (B).



Figura M.1.6. Adición de los reactivos (A); Agitación de la muestra (B).

Para obtener la grasa, se centrifugó el homogeneizado en una centrífuga **Eppendorf 5804 R** (*Eppendorf, Hamburgo, Alemania*) a 30°C, a 5000 rpm, durante 3 minutos hasta la consecuente separación de las fases. Se extrajo la fase acuosa, y la fase orgánica se evaporó en atmósfera de nitrógeno obteniendo un extracto con un grado de limpieza y concentración satisfactorio.

Transcurrido este tiempo, y una vez observada la separación de las fases (Figura V.1.7 A), se tomó una alícuota de 1 mL de la fase clorofórmica a microtubos, sin perturbar las capas flotantes (Figura M.1.7 B,C). Seguidamente se evaporó el cloroformo en atmósfera de nitrógeno y se almacenaron y conservaron a -30°C para la posterior preparación de los ésteres metílicos.

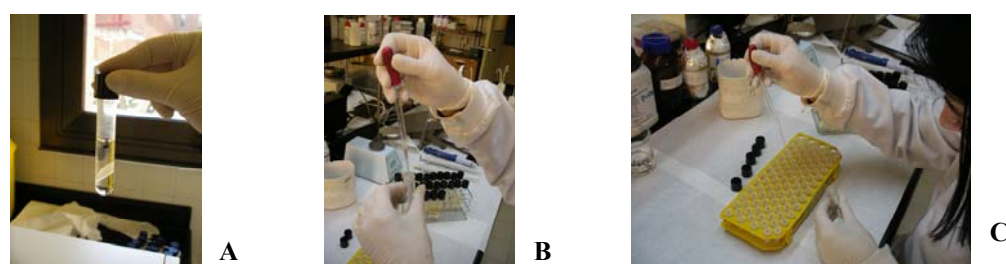


Figura M.1.7 – Separación de las fases clorofórmica/acuosas (A); Grasa extraída (B, C).

Esquemáticamente, el procedimiento se resume a esta figura:

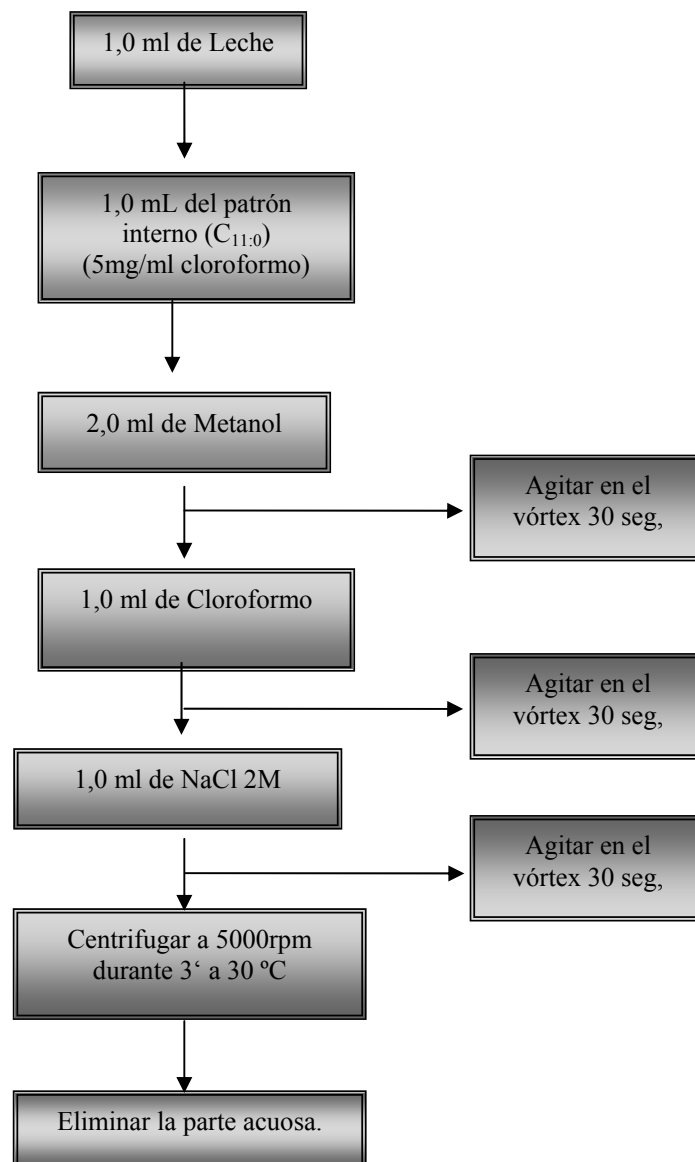


Figura M.1.8 – Procedimiento analítico de la extracción de la grasa láctea.

B) Metilación de los ácidos grasos.

Se ha elegido el procedimiento de metilación alcalina según el método descrito por Aldai *et al.* (2005), para la obtención de los ésteres metílicos de los ácidos grasos. Está basado en el método Bligh and Dyer (*Bligh and Dyer, 1959*), utilizando el metóxido de sodio (NaOCH_3).

Procedimiento de metilación:

Se pesó 1 gramo de grasa (lipidos totales), previamente extraída, que se introdujo en un tubo de vidrio de 10 ml al que se añadieron 300 μl de disolvente (n-

Hexano), agitando suavemente en el agitador de tubos (**Autovortex SA5 Stuart Scientific, Redhill, Reino Unido**) durante 1 min, hasta la completa disolución de la grasa. A continuación se agregaron 2 ml de metóxido de sodio 0,5 N. (Figura M.1.9 A), se taparon los tubos y, tras agitarlos suavemente para favorecer la reacción (Figura M.1.9 B), fueron mantenidos en una estufa a 45°C durante 20 min, agitandolos cada 10 minutos. En esta operación los tubos se mantuvieron cerrados.

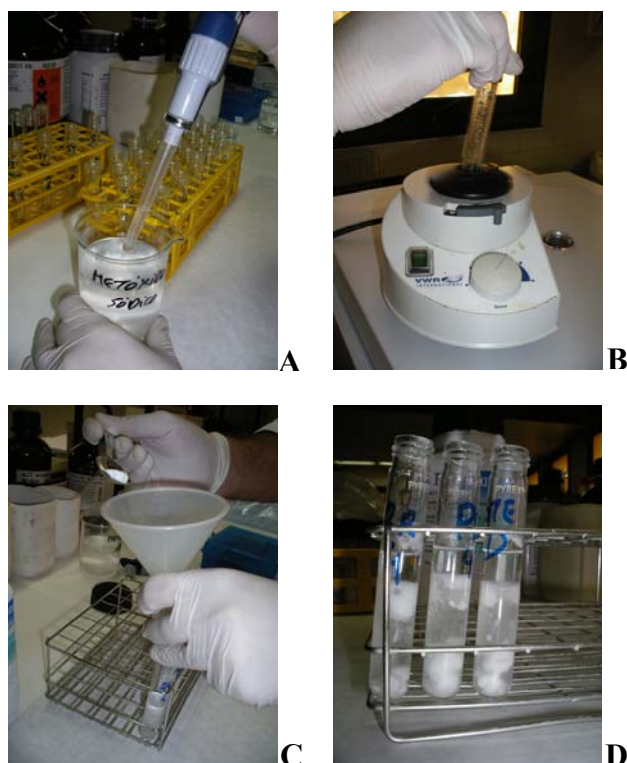


Figura M.1.9. Transesterificación alcalina (NaOCH_3) (A); Agitación de los tubos (B); Adición de Na_2SO_4 (C); Disolución de los ésteres metílicos (D).

Transcurrido este tiempo, y tras un periodo de reposo a temperatura ambiente se añadieron 3 gotas de ácido acético glacial, 2 ml de solución saturada de NaCl y 2 ml de n-Hexano. Se procedió a la agitación total de la mezcla y posteriormente se ha añadido una alícuota de sulfato sódico anhidro (Na_2SO_4) (Figura M.1.9 C). Luego se volvieron a cerrar los tubos, y tras agitar enérgicamente durante 1 minuto se centrifugó a 30°C durante 3 minutos a 5000 rpm.

A continuación, finalizado el tiempo de centrifugación, se tomaron 1 ml de la capa superior, con ayuda de una microjeringa, en viales de vidrio (Figura M.1.10), siendo seguidamente inyectados en el equipo cromatográfico.

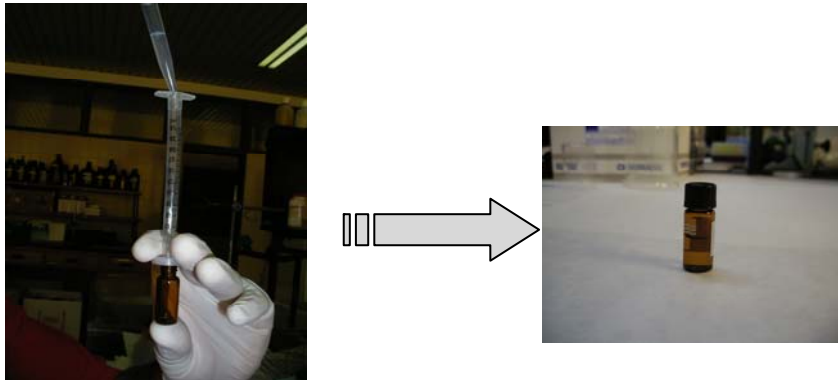


Figura M.1.10. Filtrado de los ésteres metílicos de los ácidos grasos.

Esquemáticamente (Figura M.1.11), el procedimiento se resume a:

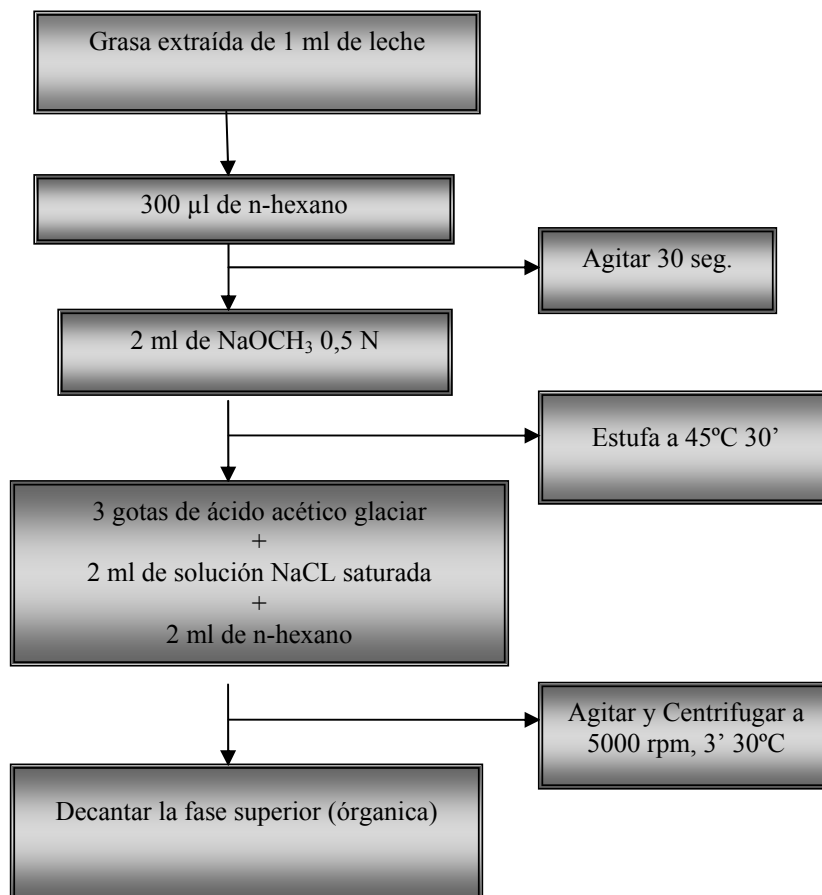


Figura M.1.11. Procedimiento analítico de la metilación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos.

C) Análisis cromatográfico de los ésteres metílicos de los ácidos grasos.

Los ácidos grasos constituyentes de los triglicéridos, fueron analizados bajo la forma de ésteres metílicos de los ácidos grasos (Fatty Acid Methyl Esters - FAMES). El análisis cromatográfico para la identificación y cuantificación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos totales de la leche, se realizó mediante cromatografía de gases usando un cromatógrafo **Hewlett Packard 6890 Series GC System** (*Hewlett Packard, Wilmington, DE, USA*) (Figura M.1.11), equipado con:

- Inyector automático: **Hewlett Packard 7683 Series Inyector** (*Hewlett Packard, Wilmington, DE, USA*).
- Detector: **Hewlett Packard 5973 Mass Selective Detector** (*Hewlett Packard, Wilmington, DE, USA*);



Figura M.1.12
Cromatógrafo de gases (GC-MS).



Figura M.1.13
Columna de separación.



Figura M.1.14
Inyector automático.

c1. Condiciones Cromatográficas

Para la separación de los distintos ácidos grasos se ha empleado una columna capilar de fase polar **Tekno TR-CN 100; 60m x 0,25mm x 0,20 μ m** (*Teknokroma, Barcelona, España*). En la columna cromatográfica empleada, se ha utilizado un volumen de inyección de 1.0 μ l de muestra metilada y las condiciones de trabajo fueron las siguientes:

- Flujo de gas portador (helio);
- Volumen de inyección: 1 μ l con un split: 10:1;
- Temperatura del Detector: 230°C;

- Temperatura del Inyector: 230°C;
- Programa de Temperaturas: temperatura de la columna de 50° C isothermal durante 1 minuto (a), pendiente de 15°C/minuto hasta 200°C (b) mantenida durante 3 minutos (c), pendiente de 2°C/min. Hasta 220°C, mantenida por 5 min. El tiempo total/carrera fue de 29 minutos,; Como se ejemplifica en la Figura M.1.15.

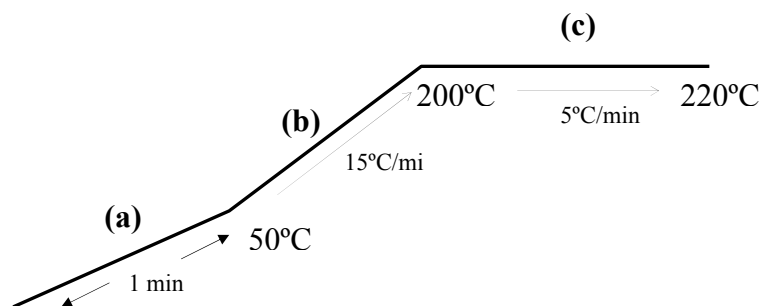


Figura M.1.15: Programación de Temperaturas en la Fase Experimental I.

c2. Identificación de los Picos Cromatográficos

La identificación de los 36 ácidos grasos se llevó a cabo por comparación de los tiempos de retención de los patrones externos (*Supelco 37 Fame Mix (USA)*) y posterior confirmación con los espectros de masas de los picos con los ácidos grasos de la base de datos **Hewlett Packard Willey 275L Mass Spectral Library** (*Hewlett Packard, Wilmington, DE, USA*). Los resultados de los ácidos grasos se presentan en mg/100 g del total de ácidos grasos.

c3. Cuantificación

La composición en ácidos grasos se determinó en forma de porcentaje en masa de cada componente individual siguiendo la Norma FIL-IDF 184 (2002). El contenido de ácidos grasos metilados en la leche se expresó en gramos de ácido graso individual por 100 gramos de ácidos grasos totales.

c4. Determinación de los factores de respuesta:

Para la cuantificación de los ácidos grasos metilados de las muestras de leche, se preparó una mezcla patrón de ácidos grasos metilados de concentraciones conocidas y cuya composición fuera semejante a la de la grasa problema.

El porcentaje de área de un componente, representado por un pico en el cromatograma, se determinó empleando el método de normalización de tal modo que, excluyendo los picos no atribuibles a ácidos grasos, la suma de las áreas de los picos representó el 100% de los constituyentes de la muestra.

Los factores de respuesta (FDR_x) de cada componente se calcularon aplicando la siguiente fórmula:

$$FDR_x = \frac{m_x\%}{A_x\%} = \frac{m_x \times \Sigma A}{\Sigma m \times A_x}$$

donde:

$m_x\%$ = Porcentaje en masa del componente x de la mezcla patrón;

$A_x\%$ = Porcentaje de área del componente x de la mezcla patrón;

m_x = Masa conocida del componente x de la mezcla patrón;

ΣA = Suma total de las áreas de todos los picos;

Σm = Suma total de las masas de la mezcla patrón;

A_x = Área del pico del componente x .

Los factores de respuesta relativos (FDR_x^*) de cada componente se calcularon aplicando la siguiente fórmula:

$$FDR_x^* = \frac{FDR_x}{FDR_{st}}$$

donde:

FDR_x = Factor de respuesta de cada componente.

FDR_{st} = Factor de respuesta del estándar interno.

Cálculo de los resultados:

El porcentaje en masa de cada ácido graso de la muestra, expresado como gramos por 100 gramos de ácidos grasos totales, se determinó aplicando la fórmula siguiente:

$$\%M_x = \frac{FDR_x^* \times A_x \times 100}{\Sigma (FDR_x^* \times A_x)}$$

donde:

$\%M_x$ = Porcentaje en masa del componente x ;

FDR_x^* = Factor de respuesta relativo del componente x ;

A_x = Área del pico del componente x .

Los cromatogramas obtenidos fueron procesados utilizando el programa informático **HP G1701BA versión B.01.00 Chemstation Software (HP, Wilmington, USA)**. La Figura M.1.16 muestra el cromatograma patrón donde aparecen identificados los distintos ácidos grasos.

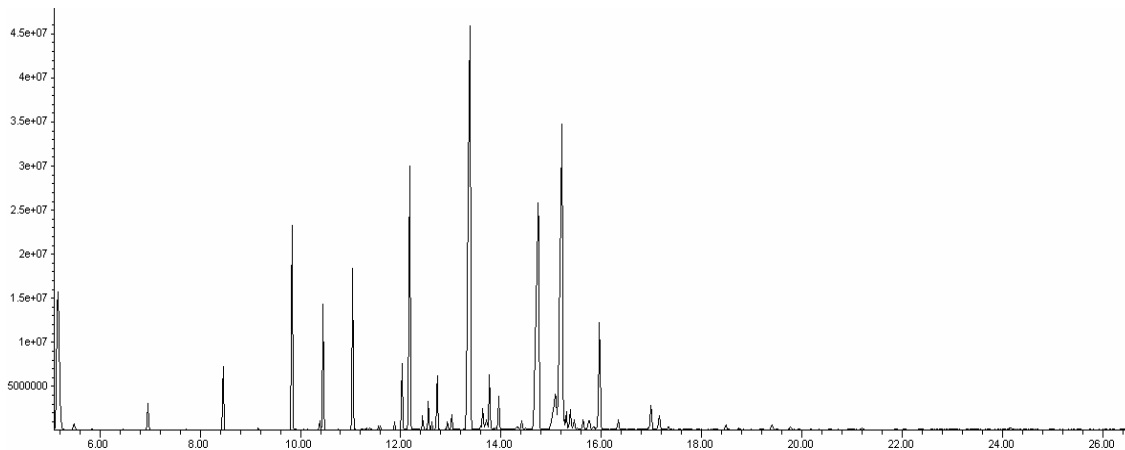


Figura M.1.16. Cromatograma patrón de los ácidos grasos metilados.

En la Tabla M.1.1 se presenta la identificación de los picos del patrón de los ésteres metílicos de los ácidos grasos cuantificados en la grasa de la leche de oveja.

Tabla M.1.1. Identificación de los Picos cromatográficos de los esteres metílicos de los ácidos grasos en la leche de oveja

N.º Pico	Tiempo Retención	Área	FAME's
1	6,405	5171003	Ester Metílico del ácido butírico (C _{4:0})
2	6,75	1595866987	Ester Metílico del ácido caprónico (C _{6:0})
3	7,062	149527506	Ester Metílico del ácido caprílico (C _{8:0})
4	7,189	56822907	Ester Metílico de ácido cáprico (C _{10:0})
5	7,667	2262056	Ester Metílico de ácido laurico (C _{12:0})
6	7,976	21563775	Ester Metílico de ácido tridecanoico (C _{13:0})
7	8,223	5106760	Ester Metílico de ácido iso-tetradecanoico (C _{14:0iso})
8	8,439	134047087	Ester Metílico de ácido mirístico (C _{14:0})
9	9,137	1661995	Ester Metílico de ácido iso- pentadecanoico (C _{15:0iso})
10	9,812	7490931	Ester Metílico de ácido miristoleico (C _{14:1})
11	9,955	105953751	Ester Metílico de ácido pentadecanoico (C _{15:0})
12	10,698	4847899	Ester Metílico de ácido iso-hexadecanoico (C _{16:0iso})
13	11,174	9555860	Ester Metílico de ácido palmítico (C _{16:0})
14	11,606	255566312	Ester Metílico de ácido heptadecanoico (C _{17:0})
15	11,812	24667417	Ester Metílico de ácido palmitoleico (C _{16:1})
16	12,117	1056797366	Ester Metílico de ácido iso-heptadecanoico (C _{17: anti-iso})
17	12,42	21132035	Ester Metílico de ácido (C _{18:0iso})
18	12,766	346707073	Ester Metílico de ácido cis-10-heptadecanoico (C _{17:1})
19	12,967	20268627	Ester Metílico de ácido esteárico (C _{18:0})
20	13,064	8704742	Ester Metílico de ácido (C _{18:1t11})
21	13,251	13149991	Ester Metílico de ácido oleico (C _{18:1 c9})
22	13,526	13444585	Ester Metílico de ácido (C _{18:1 c11})
23	13,997	1059277758	Ester Metílico de ácido (C _{18:1 c12})
24	14,18	33234589	Ester Metílico de ácido linolelaídico (C _{18:2 t})
25	14,377	176795347	Ester Metílico de ácido linoléico (C _{18:2c})
26	14,602	128499801	Ester Metílico de ácido araquídico (C _{20:0})
27	15,024	36745611	Ester Metílico de ácido γ -linolénico (C _{18:3o6})
28	15,415	2481016169	Ester Metílico de ácido cis-11-eicosadienoico (C _{20:1})
29	15,622	138721289	Ester Metílico de ácido linolénico (C _{18:3c})
30	15,902	279055946	Ester Metílico de ácido linoléico conjugado (C _{18:2 9c11t})
31	16,167	78950897	Ester Metílico de ácido linoléico conjugado (C _{18:2 10t12c})
32	16,36	14639372	Ester Metílico de ácido heneicosanóico (C _{21:0})
33	16,754	81776484	Ester Metílico de ácido behênico (C _{22:0})
34	17,134	1543026140	Ester Metílico de ácido araquidónico (C _{20:4})
35	16,405	176795347	Ester Metílico de ácido tricosanoico (C _{23:0})
36	17,235	76458935	Ester Metílico de ácido tetracosanóico (C _{24:0})

2. EXPERIENCIA I.

2.1. Material Animal.

Las muestras de leche procedieron del rebaño experimental perteneciente a Universidad de León. Se tomaron 12 muestras de 500 ml de leche de 12 ovejas diferentes. Es necesario indicar que, como el objetivo fue investigar la repetibilidad del método de análisis de la composición de los ácidos grasos, de cada una de las 12 muestras fueron extraídas 10 alícuotas. Cada una de las 10 alícuotas fue analizada en días y momentos diferentes pero con la misma metodología.

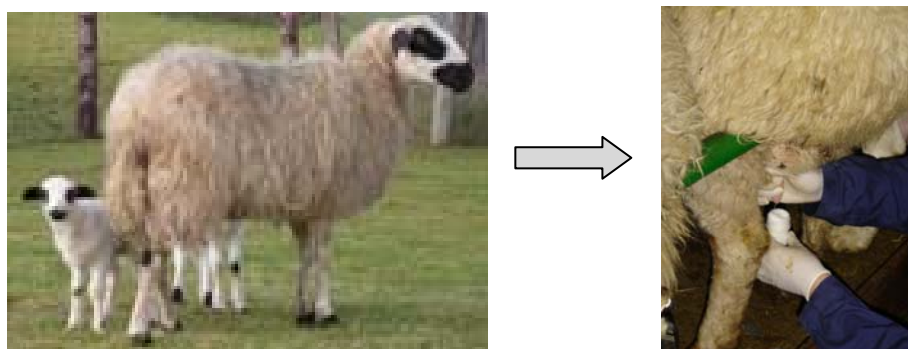


Figura M.2.1. Toma de muestras de leche de oveja Churra.

2.2 Metodología estadística.

El análisis estadístico para la estimación de la repetibilidad se llevó a cabo con el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) (versión 9.01). El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + O_i + R_j + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} es la variable Concentración de cada uno de los ácidos grasos analizados;

O_i es el Efecto de la oveja i ;

R_j es el Efecto de la réplica j .

La repetibilidad analítica se definió por el cociente entre la varianza del efecto oveja y la suma de la varianza del efecto oveja y la varianza residual.

3. EXPERIENCIA II.

3.1. Material Animal.

Esta experiencia se desarrollo en la granja experimental de la Universidad de León, con ovejas de las razas Assaf y Churra. Los animales que se han utilizado en dicha experiencia fueron mantenidos en condiciones de explotación intensiva y distribuidos en 2 lotes experimentales de 16 ovejas de raza Assaf y 16 ovejas de raza Churra .

Los muestreos de leche se han efectuado durante el período comprendido entre Febrero a Mayo de 2006, siguiendo el siguiente calendario (Tabla M.3.1).

Tabla M.3.1 – Caracterización del muestreo de la Experiencia II

Mes	Día	Hora de ordeño
Febrero	8	Tarde
	13	Mañana - Tarde
	14	Mañana -Tarde
	15	Mañana -Tarde
	16	Mañana -Tarde
	17	Mañana -Tarde
	22	Tarde
Marzo	1	Tarde
	8	Tarde
	15	Tarde
	22	Tarde
	29	Tarde
Abril	5	Tarde
Mayo	3	Tarde

3.2. Metodología estadística.

El análisis estadístico se llevó a cabo con el procedimiento MIXED. El modelo general fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + R_i + F_j + D_{k(j)} + H_{l(k)} + O_{m(i)} + e_{ijklm}, \quad \text{donde:}$$

Y_{ijklm} es la variable concentración de cada uno de los ácidos grasos;

R_i es el efecto de la raza;

F_j es el efecto de la fase de lactación en meses (1-4);

$D_{k(j)}$ es el efecto de la fecha de control k ; jerarquizado a la fase de lactación j .

H_l es el efecto de la hora de ordeño, mañana o tarde.

$O_{m(i)}$ es el efecto aleatorio de la oveja;

Las repetibilidades temporales se estimaron como el cociente entre la varianza del efecto oveja sobre la suma de la varianza del efecto oveja y la varianza residual. Se estimaron las siguientes repetibilidades temporales: Rd-mt (diaria entre los controles del mismo día), Rd-m y Rd-t (repetibilidades entre los controles de 5 días consecutivos, bien en controles de mañana o tarde), Rs (semanal entre los controles de 9 semanas consecutivas) y Rm (repetibilidad mensual, entre los controles de 4 meses consecutivos). Para ello de la base de datos general se seleccionaron los registros pertinentes.

4. EXPERIENCIA III.

4.1. Población animal.

La población animal utilizada en esta experiencia estuvo formada por 1135 ovejas hijas de 15 machos y pertenecientes a 14 explotaciones ubicadas en diferentes provincias de la Comunidad de Castilla y León (Burgos, León, Palencia, Segovia, Valladolid y Zamora) (Tabla M.4.1)

Tabla M.4.1. Identificación y ubicación de las ganaderías.

Ganadería participante	
A	SAT San Pedro (Valladolid)
B	Bonisa (Valladolid)
C	Clemente Sendino (Burgos)
D	Cedillo de la Torre (Segovia)
E	Fausta Alejos (Palencia)
F	Hnos BLANCO (León)
G	Hnos Rey Ruíz (Valladolid)
H	Pedro Cernuda (Valladolid)
I	SCL. Valdelafuente (León)
J	Diputación (Palencia)
K	Caferca (Palencia)
L	SAT Sanvi (Valladolid)
M	J.A. Villaquiden (Burgos)
N	El Pinar, Villalpando (Zamora)

Todos los rebaños están incluidos en el núcleo de selección de la raza Churra y, en consecuencia, adheridos al Control lechero oficial (CLO). Este programa esta siendo desarrollado bajo la responsabilidad conjunta de la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Churro (ANCHE) y la Unidad de Mejora Genética de la Universidad de León.

La población animal está bien conectada genéticamente dado que los 15 padres, eran machos mejorantes o en prueba utilizados en muchas explotaciones a través de inseminación artificial.

4.2. Toma de muestras.

Las muestras de leche analizadas fueron 4.579. La distribución por padre y rebaño se presenta en la tabla M.4.2. Estas muestras proceden del CLO y fueron tomadas del Laboratorio de análisis (Centro Nacional de Selección y de Reproducción Animal (CENSYRA). El periodo de toma de muestras fue desde Enero de 2006 hasta finales de Junio de 2007.

Tabla M.4.2. Distribución del número de muestras por semental y explotación.

Padre	Total	Ganaderías participantes													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
BR10330	285	49	0	25	12	26	39	14	0	18	6	19	28	23	26
BR10432	225	0	0	5	16	4	84	5	0	32	11	30	33	5	0
BR10448	102	0	53	0	0	4	0	3	9	5	0	18	4	1	5
GE10117	283	94	0	3	57	37	0	12	0	29	3	3	27	6	12
GE10214	720	109	215	5	57	22	106	16	36	24	19	34	45	11	21
GE10252	333	59	6	15	57	5	46	9	6	52	23	32	2	3	18
GE10353	159	30	0	16	27	0	7	17	0	15	0	8	34	5	0
GE10362	184	56	0	0	55	15	0	4	0	22	16	10	2	2	2
GE10363	581	176	89	15	21	8	84	31	45	50	4	19	8	10	21
GE85589	274	96	47	5	0	5	5	13	21	11	0	17	19	7	28
IJ10492	141	0	46	0	3	11	0	16	16	32	0	0	7	4	6
PI10219	346	61	43	33	7	29	66	16	14	10	9	35	1	9	13
SE10292	190	29	0	0	21	15	21	8	16	7	13	19	10	10	21
W10056	311	96	28	2	19	3	39	9	18	36	20	19	12	10	0
VS10303	240	65	0	12	7	34	16	9	34	9	30	9	2	3	10
OTROS	205	0	0	49	16	7	54	10	10	18	0	22	0	8	11
TOTAL	4579	920	527	185	375	225	567	192	225	370	154	294	234	117	194

Las muestras se enfriarán rápidamente en hielo (según la distancia y la estación) y transportadas al laboratorio de análisis del Departamento de Tecnología y Higiene de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria, Universidad de León, donde se conservarán en cámara frigorífica a una temperatura de -20°C para su posterior análisis. De todas las muestras almacenadas solamente se analizaron dos muestras por lactación de cada oveja, y se excluyeron las procedentes de lotes de menos de 10 muestras por Rebaño-día de control.

4.3 Metodología estadística.

El análisis estadístico realizado en este experimento podemos estructurarlo en dos apartados: A) Analisis de los factores de variación sobre las variables estudiadas y B) Estimación de parámetros genéticos.

A) Analisis de los factores de variación.

El ANOVA se llevó a cabo con el procedimiento MIXED (SAS versión 9.01). El modelo general fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + R_i + DC_{j(i)} + F_k + E_l + b_1G + b_2L + e_{ijklm}, \quad \text{donde,}$$

Y_{ijklm} , variable dependiente

μ , media

R_i , efecto fijo asociado al rebaño

$DC_{j(i)}$, efecto asociado al día de control dentro de cada rebaño.

F_k , efecto fijo de la fase de lactación (1-6 meses)

E_l , efecto fijo de la edad de la oveja (1-6)

G , efecto de la covariable % de grasa

L , efecto de la covariable leche producida el día del control

e_{ijklm} , efecto aleatorio residual.

También se estimó el efecto de la estación del año, sustituyendo en el modelo precedente el efecto día ($DC_{j(i)}$) de control por el de estación (ES_j).

El procedimiento GLM también fue utilizado para determinar las medias mínimo cuadráticas para los diferentes niveles de los factores fijos de interés. Se consideraron diferentes niveles de significación, según el valor sea *** ($p < 0,001$); ** ($p < 0,01$); * ($p < 0,05$); n.s. ($p \geq 0,1$), respectivamente.

B) Estimación de parámetros genéticos.

La estimación de las heredabilidades, repetibilidades y las correlaciones genéticas, así como respectivos errores estándar se obtuvieron en un análisis multivariante, mediante descomposición de la varianza mediante el programa VCE (Variante Component Estimation) version 4.2 de Groeneveld (1998).

Las estimaciones de los parámetros genéticos para las variables estudiadas se estimaron utilizando un modelo animal con repetibilidad..

A continuación se especifica el modelo mixto utilizado, detallando los efectos incluidos.

$$Y_{ijklm} = \mu + RDC_i + F_j + E_l + p_m + a_n + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} , variable dependiente,

μ , media,

RDC_i , efecto fijo de la combinación rebaño día de control,

F_j , efecto fijo de la fase de lactación (1-6 meses),

E_l , efecto fijo de la edad de la oveja (1-6),

p_m , efecto aleatorio del ambiente permanente,

a_n , efecto aleatorio del valor genético aditivo,

e_{ijklm} , efecto aleatorio residual.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. EXPERIENCIA I: Estimación de la repetibilidad analítica del contenido en ácidos grasos en la leche.

1.1. Estadística Descriptiva.

La estadística descriptiva del perfil de ácidos grasos de las 120 (12 muestras/10 análisis) alícuotas de leche analizadas se presenta en la Tabla R.1.1. Los estadísticos presentados son: media aritmética, valor mínimo, valor máximo, desviación típica y coeficiente de variación. Además de la estadística de los 36 ácidos grasos analizados, se presentan las agrupaciones de interés, en base al nivel de saturación y la longitud de la cadena: AGS (ácidos grasos saturados totales), AGS-cc (cadena corta, entre C₄-C₁₀), AGS-cm (cadena media C₁₂-C₁₅) y AGS-cl (cadena larga C₁₆-C₂₄), AGMI (monoinsaturados) y por último AGPI (poliinsaturados). También se presentan los valores correspondientes a los ácidos grasos ω -6, así como varios índices y agrupaciones de interés: cociente entre los AG insaturados/saturados (I/S), cociente entre la concentración de AG ω -6/ ω -3, por la importancia que este índice presenta en la alimentación humana, (Mesa *et al.*, 2007).

Aunque el objetivo de esta primera experiencia es cuantificar la fiabilidad del método elegido para analizar el contenido en AG de la leche, podemos indicar que los resultados obtenidos se caracterizan por presentar una gran variedad de ácidos grasos, como ya han observado otros autores utilizando, como en nuestro caso, cromatografía gaseosa de alta resolución (Collomb *et al.*, 2002). La grasa presente en la leche de los rumiantes se encuentra entre las más complejas por su composición lipídica, debido a la influencia de la flora ruminal en su constitución (Karma, 2005, Bauman *et al.*, 1999). El método utilizado cromatografía gaseosa ha permitido detectar, en promedio, 36 picos de ésteres metílicos de ácidos grasos, con cuantificación válida. En consecuencia, podemos considerar satisfactoria la resolución obtenida para la totalidad de los ácidos grasos esterificados.

En este análisis de estudios previos puede observarse:

1.- Que los AGs mayoritarios en la leche ovina analizada son los siguientes: el ácido palmítico (C_{16:0}) con un 23,96%, el oleico (C_{18:1c9}), con un 16,12%, el esteárico

(C_{18:0}) con el 11,45% y el mirístico (C_{14:0}) con un 10,90%, todos ellos de cadena larga, entre 15 y 18 átomos de carbono.

2.- Que están también presentes los ácidos de cadena muy larga: araquídico (C_{20:0}), gondoico (C_{20:1c}), araquidónico (C_{20:4}) y behénico (C_{22:0}), pero en proporciones muy bajas, en conjunto no alcanzan el 1%.

3.- Que un total de 21 AGs no alcanzan una proporción del 1%, de los cuales 6 ni siquiera llegan a una proporción del 1‰.

4.- Que entre los AG que no alcanzan el 1% se encuentran los dos isómeros identificados del CLA. Correspondiendo una media del 0,7% al isómero C_{18:2c9t11}, el biológicamente activo y más conocido y que exhibe más interés desde el punto de vista de la salud humana.

En cuanto a las agrupaciones de AG presentes en la tabla R.1.1, constatamos que los AGS, presentan la mayor proporción (72,15%), frente a los AGMI (22,30%) y a los AGPI (5,53%). La proporción de AG ω -6 presenta una media del 3,66%.

Los valores medios de los distintos AG están dentro de los rangos obtenidos por otros autores, también en ganado ovino (Nudda *et al.* (2005); Lock *et al.* (2006); Signorelli *et al.* (2008); Gómez-Cortés *et al.* (2008) y Carta *et al.* (2008).

En cuanto a las medidas de variabilidad (desviación estándar y C.V.), de la tabla R.1.1 no debe realizarse ninguna deducción, ya que se trata de un número limitado de animales muestreados (12 en total) pudiendo no ser representativos de la variabilidad general, experiencias posteriores nos serán más útiles para cuantificar esta variabilidad.

Tabla R.1.1. Estadística descriptiva de las 120 alícuotas analizadas para estimar la repetibilidad del método de determinación del contenido en ácidos grasos de la leche.

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Mín</i>	<i>Max.</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>CV (%)</i>
C _{4:0}	1,74	0,73	3,64	2,88	52,44
C _{6:0}	2,01	1,54	2,46	0,59	34,13
C _{8:0}	3,18	2,68	3,74	0,28	8,33
C _{10:0}	8,93	7,27	10,59	0,85	9,61
C _{12:0}	5,34	4,30	6,54	0,64	12,12
C _{13:0}	0,15	0,05	0,23	0,03	23,48
C _{14:0iso}	0,13	0,09	0,21	0,02	18,62
C _{14:0}	10,90	9,05	12,51	1,02	9,39
C _{15:0iso}	0,30	0,18	0,45	0,06	22,27
C _{14:1}	0,55	0,40	0,72	0,06	12,07
C _{15:0}	1,26	0,91	1,54	0,12	9,76
C _{16:0 iso}	0,31	0,21	0,48	0,06	19,59
C _{16:0}	23,96	20,52	27,06	1,29	5,40
C _{17:0}	1,61	0,41	0,69	0,06	10,85
C _{16:1}	1,05	1,28	2,33	0,24	15,21
C _{17:0anti-iso}	1,05	0,71	2,15	0,23	21,89
C _{18:0iso}	0,06	0,01	0,13	0,02	34,31
C _{17:1}	0,28	0,19	0,52	0,07	24,46
C _{18:0}	11,45	8,95	14,72	1,70	14,90
C _{18:1t11}	2,34	0,90	3,31	0,59	25,43
C _{18:1c9}	16,12	13,73	20,49	1,39	8,66
C _{18:1c11}	0,74	0,63	0,94	0,06	8,70
C _{18:1c12}	0,65	0,37	0,83	0,06	9,58
C _{18:2t}	0,15	0,06	4,76	0,07	46,79
C _{18:2c}	3,27	0,33	4,36	0,63	19,17
C _{20:0}	0,32	0,03	0,40	0,05	17,42
C _{18:3 ω6}	0,03	0,00	0,05	0,01	36,15
C _{20:1}	0,01	0,00	0,18	0,01	46,31
C _{18:3c}	0,97	0,30	1,88	0,38	39,54
C _{18:29c11t (CLA)}	0,70	0,39	1,10	0,19	27,38
C _{18:210t12c (CLA)}	0,02	0,01	0,02	0,01	34,86
C _{21:0}	0,14	0,06	0,22	0,04	25,53
C _{22:0}	0,16	0,10	0,31	0,03	24,42
C _{20:4}	0,38	0,28	0,56	0,05	14,04
C _{23:0}	0,07	0,04	0,16	0,02	36,02
C _{24:0}	0,06	0,01	0,13	0,03	49,24
INDICES y AGRUPACIONES					
AGS	72,15	64,78	75,83	2,27	3,15
Ags-cc	15,88	12,46	18,22	1,28	8,08
Ags-cm	18,10	15,12	20,86	1,69	9,36
Ags-cl	38,17	35,33	41,22	1,37	3,60
AGMI	22,30	19,06	27,85	1,74	7,81
AGPI	5,53	4,00	7,25	0,80	14,47
I/S	0,38	0,31	0,54	0,05	11,70
ω-6	3,66	0,76	4,80	0,67	18,32
ω-6/ω-3	4,38	1,12	11,17	1,74	40,04

1.2. Repetibilidad analítica.

Las estimaciones de la repetibilidad analítica se presentan en la Tabla R.1.2. También se incluye la significación del efecto Replicación del análisis de varianza realizado para la estimación de los componentes de varianza.

En relación con las repetibilidades, se observa una enorme variabilidad, entre 0,09 y 0,98. A la vista de los valores incluidos en la citada tabla, podemos hacer las siguientes observaciones:

1.- Los cinco AG mayoritarios presentan repetibilidades superiores a 0,94, que deben considerarse muy altas.

2.- El AG C_{4:0}, que como se puede observar en la Tabla R.1.1 tiene una gran variabilidad en su concentración, presenta una repetibilidad que no puede considerarse alta. Es necesario mencionar que este es el AG más volátil de los presentes en la tabla, característica que puede explicar su comportamiento. Algo similar puede comentarse del AG C_{6:0}, aunque su volatilidad es menor.

3.- En cuanto al resto de los AG, puede observarse que las menores repetibilidades (entre 0,09 y 0,53) corresponden a AG con muy poca representatividad (el más abundante se encuentra en un 1,05%).

4.- A pesar de que la proporción en que se encuentra el CLA en la leche ovina no llega al 1%, la repetibilidad mostrada debe considerarse como muy alta (0,95 y 0,97 para cada uno de los dos isómeros identificados). En este sentido, el método empleado puede considerarse muy adecuado para valorar la proporción de CLA que contiene la leche ovina.

5.- Respecto a las agrupaciones de AG, podemos observar que las menores repetibilidades corresponden a los AGS de cadena corta y de cadena larga. En el primer caso posiblemente como consecuencia de la influencia de los AG C_{4:0} y C_{6:0} y en el segundo debido a la influencia de un buen número de AG (entre 20 y 24 átomos de carbono) que se encuentran en proporciones muy bajas (menores del 1%).

Tabla R.1.2. Repetibilidad analítica (%) del contenido de ácidos grasos en la leche de oveja (n=120).

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Replica (1)</i>	<i>Repetibilidad</i>
C _{4:0}	1,74	NS	0,61
C _{6:0}	2,01	NS	0,38
C _{8:0}	3,18	NS	0,86
C _{10:0}	8,93	NS	0,97
C _{12:0}	5,34	NS	0,98
C _{13:0}	0,15	**	0,82
C _{14:0iso}	0,13	NS	0,93
C _{14:0}	10,90	NS	0,98
C _{15:0iso}	0,30	NS	0,95
C _{14:1}	0,55	NS	0,93
C _{15:0}	1,26	NS	0,94
C _{16:0 iso}	0,31	NS	0,95
C _{16:0}	23,96	NS	0,94
C _{17:0}	1,61	NS	0,90
C _{16:1}	1,05	NS	0,90
C _{17:0anti-iso}	1,05	NS	0,43
C _{18:0iso}	0,06	***	0,56
C _{17:1}	0,28	NS	0,92
C _{18:0}	11,45	NS	0,97
C _{18:1t11}	2,34	NS	0,66
C _{18:1c9}	16,12	NS	0,97
C _{18:1c11}	0,74	NS	0,97
C _{18:1c12}	0,65	NS	0,80
C _{18:2t}	0,15	*	0,88
C _{18:2c}	3,27	NS	0,81
C _{20:0}	0,32	NS	0,64
C _{18:3 ω6}	0,03	NS	0,26
C _{20:1}	0,01	*	0,09
C _{18:3c}	0,97	NS	0,97
C _{18:29c11t (CLA)}	0,70	NS	0,95
C _{18:210t12c (CLA)}	0,02	NS	0,97
C _{21:0}	0,14	NS	0,45
C _{22:0}	0,16	NS	0,89
C _{20:4}	0,38	NS	0,87
C _{23:0}	0,07	NS	0,92
C _{24:0}	0,06	NS	0,53
AGRUPACIONES Y ÍNDICES			
AGS	72,15	NS	0,96
Ags-cc	15,88	NS	0,85
Ags-cm	18,10	NS	0,99
Ags-cl	38,17	NS	0,86
AGMI	22,30	NS	0,94
AGPI	5,53	NS	0,94
I/S	0,38	NS	0,95
ω-6	3,66	NS	0,70
ω-6/ω-3	4,38	NS	0,80

(1) Significación del factor Replica en el ANOVA,

Nivel de significación: *** $p \leq 0,001$, ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$, NS $p > 0,05$.

El factor réplica no ha demostrado un efecto estadísticamente significativo, para cada una de las variables cuantificadas en la leche, como era de esperar. Solamente para 4 AGs ha resultado significativo, correspondiendo a variables de escasa importancia cuantitativa, entre 0,01% y 0,15 %, lo que puede interpretarse como un efecto originado por el bajo contenido del ácido graso en la leche.

El análisis de la variabilidad dentro de cada muestra (10 réplicas por muestra) se presenta solamente para 3 AG (tablas R.1.3, R.1.4 y R.1.5) con la finalidad de no ser reiterativos. Los AG elegidos han sido, $C_{16:0}$ que se encuentra en una alta proporción en la leche analizada (Tabla R.1.3), $C_{18:0}$ cuya proporción es también alta (Tabla R.1.4) y $C_{18:2n-11t}$ que se encuentra en baja concentración (Tabla R.1.5).

Los coeficientes de variación para cada muestra han resultado menores que los incluidos en la Tabla R.1.1, como era de esperar. Del análisis de estas tres tablas, podemos destacar las observaciones siguientes:

1.- Los coeficientes de variación excepcionalmente alcanzan valores próximos al 10% para las replicas de una misma muestra. Por lo tanto, hemos de admitir que el método parece muy adecuado para los objetivos propuestos en esta investigación.

2.- Los coeficientes de variación son menores cuando la proporción que alcanza el ácido graso en la leche se aproxima o supera el 10% y son mayores con proporciones próximas al 1%, como es de esperar.

3.- En el caso del CLA, en proporción que raramente supera el 1% en las muestras analizadas, se observa, con carácter general, que el coeficiente de variación suele ser mayor cuando la proporción es menor del 1% que cuando está más próxima a esta cantidad. El método parece mostrarse más fiable cuando la proporción del ácido es mayor en la muestra.

4.- En todos los casos, y como era de esperar, el coeficiente de variación global es superior al que se estima para las réplicas, ya que aquél contiene tanto la variación entre las réplicas como la producida entre las muestras.

Si comparamos estos resultados con los obtenidos por Othmane *et al.* (2002), usando distintas réplicas para valorar un método determinación del rendimiento quesero de la leche (coeficientes de variación entre réplicas de 1,9 a 2,3, con un valor global de 8,2), podemos observar que los coeficientes de variación son mayores en nuestro caso, especialmente en el CLA. La diferencia entre ambas metodologías es elevada, puesto

que en nuestro caso se trata de obtener un número de fenotipos altos (36) de una misma muestra y dependientes entre si, por tratarse de proporciones.

Tabla R.1.3. Estadística descriptiva dentro de cada muestra del AG C_{16:0} con 10 replicas por muestra.

	N° de muestra												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Global
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120
Media	24,82	22,83	24,27	23,89	23,43	24,76	24,69	26,17	22,38	24,02	24,62	21,64	23,96
SD	0,63	0,53	0,61	0,52	0,48	0,64	0,55	0,67	0,18	0,36	0,37	0,61	1,29
CV	2,56	2,31	2,55	2,20	2,09	2,59	2,22	2,50	0,82	1,52	1,51	2,85	5,40

Tabla R.1.4. Estadística descriptiva dentro de cada muestra del AG C_{18:0} con 10 replicas por muestra.

	N° de muestra												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Global
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120
Media	9,49	11,60	11,47	9,63	14,59	12,47	9,52	10,21	13,64	10,50	10,76	13,51	11,45
SD	0,13	0,20	0,12	0,09	0,08	0,08	0,21	0,47	0,21	0,16	0,14	0,74	1,71
CV	1,41	1,79	1,05	1,03	0,61	0,66	2,27	4,60	1,59	1,59	1,33	5,53	14,90

Tabla R.1.5. Estadística descriptiva dentro de cada muestra del AG C_{18:2,9c11t} con 10 replicas por muestra.

	N° de muestra												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Global
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120
Media	0,47	1,004	0,60	0,61	0,57	0,55	0,82	0,56	0,87	0,83	0,54	1,03	0,70
SD	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,03	0,01	0,04	0,05	0,19
CV	8,85	3,79	12,97	8,47	8,22	7,48	4,72	10,24	3,53	1,51	7,47	4,60	27,38

A la vista de los resultados obtenidos en esta experiencia, podemos concluir que las cuantificaciones de los AG de la leche, basadas en la cromatografía de gases (GC-MS), acoplada al espectrometro de masas, reproduce los resultados con un coeficiente de repetibilidad próximo al 90%, en la mayoría de los ácidos grasos cuantificados, cuando su proporción en la grasa de la leche supera el 1%.

2. EXPERIENCIA II: Estimación de la repetibilidad temporal del contenido en ácidos grasos de la leche.

El objetivo de esta segunda experiencia fue estimar la repetibilidad temporal (diaria, semanal y mensual) de la composición en ácidos grasos de la leche ovina, por el interés que tienen estos parámetros a la hora de planificar la experiencia fundamental, la experiencia III. Por ello, no vamos a realizar un análisis descriptivo detallado de los resultados obtenidos en esta experiencia, en la que los animales han sido seleccionados buscando introducir la mayor variabilidad posible, aspecto que consideramos de interés a la hora de planificar adecuadamente el diseño experimental de la experiencia III.

Se han tomado muestras en ordeños de mañana y de tarde, en diferentes fases (meses) de la lactación y tomando ovejas de dos razas diferentes Churra y Assaf. Consideramos necesario ofrecer, en primer lugar, la descripción estadística de los análisis realizados en esta experiencia, así como el resultado del análisis de varianza utilizado, antes de abordar la presentación de las estimaciones de las diferentes repetibilidades, es decir, en esta experiencia estamos interesados en las repetibilidades, siendo los factores de variación estimados con un mejor diseño en la experiencia III, donde participan 14 rebaños y un elevado número de ovejas.

2.1. Estadística descriptiva.

A) Caracteres de composición de la leche.

Los estadísticos elementales (medias, valores mínimo y máximo y parámetros de dispersión: desviación típica, coeficiente de variación, desviación típica y error estándar), correspondientes a las características de composición de la leche, se recogen en la Tabla R.2.1. Las variables de composición de la leche corresponden a 436 muestras analizadas de las 596 obtenidas en esta experiencia.

En su conjunto, los resultados se sitúan dentro del rango de variación mencionado en la bibliografía y registrado para otras poblaciones ovinas. Las medias de los contenidos graso y proteico fueron de 7,37 y 5,27 %, respectivamente, es decir una relación grasa/proteína de 1,40; valor comparable a los obtenidos por Othmane (2000) y Santamaría (2002) y claramente superior a la obtenida en la raza francesa Lacaune

(Barillet, 1985; Delacroix-Buchet *et al.*, 1994) (1,19) y a las razas Manchega (Caballero *et al.*, 1992), Merina (González *et al.*, 1991) y Sarda y Frisona (Casu *et al.*, 1983).

Tabla R.2.1. Estadística descriptiva (media aritmética, mínimo y máximo, desviación típica, coeficiente de variación y error estándar) de la composición de la leche (n= 436).

<i>Variables</i>	<i>Media</i>	<i>Mín.</i>	<i>Max.</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>CV</i>	<i>E.E</i>
Grasa	7,37	1,66	15,74	2,46	33,38	0,12
Proteína	5,27	3,96	6,84	0,55	10,39	0,03
Lactosa	4,87	3,63	7,82	0,36	7,48	0,02
ES	18,47	12,61	25,25	2,32	12,54	0,11
RCS	648,17	4,00	22879,00	2215,93	341,87	106,25

ES: contenido en extracto seco; RCS: recuento de células somáticas; 10^3 ml^{-1}

Algunos autores consideran que la relación media grasa/proteína es más elevada en la especie ovina que en las especies bovina y caprina. Los resultados de la Tabla R.2.1 confirman, como se ha mencionado en la revisión bibliográfica, la riqueza de la leche de oveja tanto en grasa como en proteína: 7,37 y 5,27 % respectivamente, frente a 3,10 y 2,80 % para la leche de cabra (Remeuf, 1993) y 3,60 y 2,90 % para la de vaca (Agabriel *et al.*, 1990). Este aspecto es muy importante, ya que la leche de oveja se destina mayoritariamente a la fabricación de quesos.

La media del recuento de células somáticas fue $648,17 \times 10^3$ células/ml de leche; este valor, a pesar de ser moderado, es superior a las estimaciones de Lagriffoul *et al.* (1993 y 1996), y Pellegrini *et al.* (1996) en la raza Lacaune, de 218 a 600×10^3 células/ml. Sin embargo, es muy inferior a los valores obtenidos en trabajos anteriores en la misma raza Chura por Gonzalo *et al.* (1995), 2.618×10^3 , Baro *et al.* (1994), 2.254×10^3 , y Gonzalo *et al.* (1994), 1.501×10^3 células/ml de leche. Esta disminución sensible del recuento de células somáticas en la leche de la raza Churra, se debe probablemente a que las muestras de esta experiencia proceden del rebaño de la granja experimental de la Universidad de León, sometidas a un gran apoyo técnico y sanitario para la mejora de las condiciones higiénicas y productivas del rebaño.

En general, podemos constatar la existencia de una variabilidad importante, en la mayor parte de los caracteres de composición de la leche para las muestras estudiadas. Así, la materia grasa presenta valores muy altos de CV (33,38%), mucho mayores que los presentados por el contenido proteico (10,39 %). Algo similar ocurre con las desviaciones típicas, superiores a las indicadas por Barillet (1985) citando los resultados de Casu *et al.* (1983) en Sarda, Gallego *et al.* (1983) en Manchega y Grosev *et al.* (1983) en Stara Zagora (Bulgaria). La media bibliográfica de la desviación típica se sitúa en 1,87 en la especie ovina, Barillet (1985). Este mismo autor admite para la raza Lacaune valores comprendidos entre 1,81 y 1,87, en función del número de lactación que se considere.

B) Composición de los ácidos grasos de la leche.

La estadística descriptiva (media, valores mínimo y máximo, desviación típica y coeficiente de variación) del contenido en ácidos grasos en la leche ovina, se presenta en la Tabla R.2.2. En este apartado hemos incluido un total de 301 muestras lácteas de raza Assaf y 295 muestras de raza Churra, de las 596 muestras analizadas.

El comportamiento del perfil lipídico cuantificado sigue la misma tendencia observada en las muestras obtenidas para la experiencia I, fundamentalmente porque proceden de la misma explotación, el rebaño experimental de la Universidad. Los ácidos grasos de cadena media presentes en la leche ovina suponen el 17,21% de los ácidos grasos totales identificados, correspondiendo a los ácidos grasos de cadena larga, la mayor proporción. Individualmente destaca el mirístico (C_{14:0}), con un 10,01%, el palmítico (C_{16:0}), con un 23,21%, el estearico (C_{18:0}), con un 11,30 y por último, el oleico (C_{18:1c9}), con un 15,17%

Los caracteres considerados presentan una enorme heterogeneidad. A pesar de que el número de animales utilizados es limitado y todos proceden de una misma explotación, la gran variabilidad puede deberse a que las muestras proceden de momentos diferentes de la lactación y distintas horas de ordeño (mañana/tarde), unas pocas del ordeño de la mañana, mientras que la mayoría proceden del ordeño de la tarde.

Tabla R.2.2. Estadística descriptiva (media aritmética, valores mínimo y máximo, desviación típica y coeficiente de variación) del contenido en ácidos grasos de la leche de oveja (n=596).

Variable	Media	Rango		Desv. Típica (σ)	CV (%)
		Mín.	Máx.		
C _{4:0}	2,79	0,37	4,91	0,75	26,95
C _{6:0}	2,76	0,70	4,08	0,43	15,42
C _{8:0}	3,79	0,36	5,24	0,58	15,40
C _{10:0}	9,45	2,24	12,72	1,37	14,39
C _{12:0}	5,49	1,71	8,31	0,84	15,44
C _{13:0}	0,11	0,01	0,58	0,04	40,66
C _{14:0iso}	0,13	0,05	0,38	0,03	26,28
C _{14:0}	10,01	1,24	12,72	1,10	11,01
C _{15:0iso}	0,27	0,11	1,31	0,06	22,75
C _{14:1}	0,48	0,20	1,39	0,10	20,88
C _{15:0}	1,19	0,06	1,71	0,18	15,25
C _{16:0 iso}	0,29	0,10	0,67	0,06	21,20
C _{16:0}	23,21	17,75	30,56	2,29	9,86
C _{17:0}	0,43	0,18	0,73	0,07	17,11
C _{16:1}	1,05	0,19	2,76	0,21	20,16
C _{17:0anti-iso}	0,85	0,11	1,53	0,13	15,75
C _{18:0iso}	0,12	0,01	1,00	0,09	82,29
C _{17:1}	0,31	0,00	1,79	0,15	49,00
C _{18:0}	11,38	1,30	15,93	1,90	16,73
C _{18:1t11}	2,33	1,02	7,26	0,80	34,62
C _{18:1e9}	15,17	1,49	34,23	2,95	19,43
C _{18:1e11}	0,71	0,16	1,51	0,14	20,06
C _{18:1e12}	0,65	0,14	0,98	0,12	18,65
C _{18:2t}	0,34	0,02	0,96	0,09	25,96
C _{18:2c}	3,60	0,43	5,92	0,50	14,00
C _{20:0}	0,32	0,04	2,79	0,14	46,07
C _{18:3ω6}	0,06	0,00	0,29	0,03	57,08
C _{20:1}	0,01	0,00	0,18	0,01	149,33
C _{18:33c}	1,10	0,39	3,51	0,28	25,13
C _{18:29c11t (CLA)}	0,63	0,13	1,96	0,19	29,93
C _{18:210t12c (CLA)}	0,07	0,00	0,14	0,02	33,53
C _{21:0}	0,13	0,02	0,54	0,04	34,11
C _{22:0}	0,15	0,03	0,54	0,03	19,66
C _{20:4}	0,42	0,03	0,88	0,10	24,80
C _{23:0}	0,07	0,00	0,17	0,03	36,08
C _{24:0}	0,06	0,00	0,13	0,02	29,02
INDICES y AGRUPACIONES					
AGS	73,04	51,38	84,23	3,45	4,72
AGS-cc	18,81	7,53	23,57	2,31	12,30
AGS-cm	17,21	8,39	22,07	1,77	10,27
AGS-cl	37,02	29,64	44,62	2,47	6,68
AGMI	20,73	8,88	41,29	3,18	15,34
AGPI	6,23	3,34	9,59	0,77	12,35
I/S	0,38	0,19	0,94	0,07	19,18
ω -6	4,14	1,17	6,61	0,49	11,83
ω -6/ ω -3	4,35	0,91	11,45	1,28	29,53
C _{14:1} /C _{14:0}	0,05	0,02	0,41	0,02	39,67
C _{16:1} /C _{16:0}	0,04	0,01	0,13	0,01	26,20
C _{18:1} /C _{18:0}	1,42	0,11	11,48	0,64	44,99
CLA/C _{18:1t11}	0,31	0,08	0,78	0,09	29,15

Probablemente el consumo de alimentos es diferente en las distintas fases de lactación, pues a pesar de mantener un manejo alimenticio similar durante toda la experiencia, la cantidad de pasto que toman las ovejas cuando salen a los parques sea diferente según el mes del año, de Febrero a Mayo.

2.2. Análisis de varianza sobre la composición de los ácidos grasos de la leche.

En las Tablas R.2.3 y R.2.4 se ofrecen los resultados del análisis de varianza para cada una de las variables y factores estudiados (raza, mes de lactación, fecha de control y hora de toma de muestra).

Tabla R.2.3. Análisis de varianza para los caracteres de composición de la leche (n= 436).

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>R²</i>	<i>Raza</i>	<i>Fase de lactación</i>	<i>Fecha de control</i>	<i>Hora</i>
Grasa	7,37	0,77	NS	***	**	***
Proteína	5,27	0,75	***	***	**	***
Lactosa	4,87	0,31	NS	*	NS	***
Extracto seco	18,47	0,77	NS	***	**	***
Log (RCS)	5,14	0,58	NS	NS	*	***

Nivel de significación: *** (P<0,001); ** (P<0,01), * (P<0,05); NS (no significativo).

Respecto a los caracteres de composición de la leche, el modelo propuesto recoge ampliamente la variabilidad de cada uno de los caracteres, R^2 entre 0,75 para la % P y 0,77 para % G, con excepción de la lactosa, que como ya es conocido, es un componente con poca influencia de factores externos. Estos R^2 son superiores a los encontrados por nuestro grupo en experiencias anteriores en la raza Churra (Othmane, 2000) en los que el R^2 fue 0,49. Para el carácter RCS en expresión logarítmica, también el R^2 es esta experiencia es muy superior al descrito por Othmane, (2000) de 0,11.

Con relación a los AGs, la variabilidad presente en los datos fue ampliamente recogida en el modelo propuesto, con R^2 medios de 0,49 teniendo en cuenta los 36 AGs, pero 0,57 si solamente consideramos los AGs más importantes. Estos resultados permiten estudiar los efectos que resultan significativos con claridad.

Tabla R.2.4. Análisis de varianza para los caracteres de composición de los ácidos grasos de la leche. (n= 596).

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>R²</i>	<i>Raza</i>	<i>Fase de lactación</i>	<i>Fecha de control</i>	<i>Hora</i>
C _{4:0}	2,79	0,50	NS	***	NS	***
C _{6:0}	2,76	0,42	NS	***	NS	***
C _{8:0}	3,79	0,43	*	**	NS	**
C _{10:0}	9,45	0,60	***	***	NS	***
C _{12:0}	5,49	0,58	**	***	NS	NS
C _{13:0}	0,11	0,47	NS	***	NS	NS
C _{14:0iso}	0,13	0,59	NS	***	NS	NS
C _{14:0}	10,01	0,50	NS	***	NS	**
C _{15:0iso}	0,27	0,45	NS	***	NS	*
C _{14:1}	0,48	0,38	NS	**	NS	*
C _{15:0}	1,19	0,46	NS	NS	NS	NS
C _{16:0 iso}	0,29	0,53	NS	*	NS	NS
C _{16:0}	23,21	0,68	***	***	*	***
C _{17:0}	0,43	0,60	NS	***	NS	*
C _{16:1}	1,05	0,47	NS	***	NS	NS
C _{17:0anti-iso}	0,85	0,36	NS	***	NS	NS
C _{18:0iso}	0,12	0,11	NS	NS	NS	NS
C _{17:1}	0,31	0,24	NS	***	NS	*
C _{18:0}	11,38	0,60	*	***	**	NS
C _{18:1t11}	2,33	0,50	*	***	NS	NS
C _{18:1c9}	15,17	0,47	NS	*	NS	***
C _{18:1c11}	0,71	0,60	***	***	NS	NS
C _{18:1c12}	0,65	0,60	***	***	*	***
C _{18:2t}	0,34	0,57	***	***	NS	***
C _{18:2c}	3,60	0,64	NS	NS	NS	NS
C _{20:0}	0,32	0,29	***	*	***	NS
C _{18:3ω6}	0,06	0,57	***	**	NS	NS
C _{20:1}	0,01	0,32	*	***	NS	NS
C _{18:3c}	1,10	0,63	**	***	NS	NS
C _{18:29c11t (CLA)}	0,63	0,64	***	***	*	***
C _{18:210t12c (CLA)}	0,07	0,49	**	***	NS	NS
C _{21:0}	0,13	0,36	NS	***	NS	NS
C _{22:0}	0,15	0,37	*	***	NS	NS
C _{20:4}	0,42	0,48	*	***	NS	**
C _{23:0}	0,07	0,60	*	***	*	NS
C _{24:0}	0,06	0,51	NS	***	**	NS
INDICES y AGRUPACIONES						
AGS	73,04	0,49	***	***	***	***
AGS-cc	18,81	0,49	NS	*	***	***
AGS-cm	17,21	0,56	***	***	*	**
AGS-cl	37,02	0,68	NS	*	***	***
AGMI	20,73	0,45	NS	*	***	***
AGPI	6,23	0,67	***	***	***	NS
I/S	0,38	0,45	NS	***	***	***
ω-6	4,14	0,63	***	NS	***	NS
ω-6/ω-3	4,35	0,67	***	***	***	NS
C _{14:1/C_{14:0}}	0,05	0,21	NS	*	NS	NS
C _{16:1/C_{16:0}}	0,04	0,50	NS	**	***	NS
C _{18:1/C_{18:0}}	1,42	0,16	NS	***	NS	NS
CLA/C_{18:1t11}	0,31	0,38	NS	*	***	***

Nivel de significación: ***(P<0,001); ** (P<0,01), * (P<0,05); NS (no significativo).

Es de destacar la variabilidad que se observa en cuanto al comportamiento de los diferentes AGs y factores de variación. La significación (Tabla R.2.4.) correspondiente a los diferentes factores de variación sobre los distintos AGs indica que el factor con el efecto más importante es la fase de lactación, seguido a distancia por la hora de ordeño y el efecto raza. El efecto fecha de control en general resultó muy poco significativo sobre la mayoría de los AGs.

Al analizar las diferentes agrupaciones de AGs, sin embargo, la situación no resulta tan clara. La fase de lactación no parece el factor más importante, quedando por debajo de la fecha de control y la hora de ordeño, que se muestran como los factores que introducen mayor variabilidad. Curiosamente, la fecha de control, que apenas parece afectar a la proporción de los AG de forma aislada, se muestra significativa en todas las agrupaciones. Algo similar ocurre con la hora de ordeño, que se muestra como un factor muy importante a la hora de explicar la variación individual de todas las agrupaciones de AGs.

La fase de lactación de cada AG por separado se muestra generalmente altamente significativa, y en el caso de las agrupaciones mantiene la significación pero, en algunos casos, a un nivel más bajo. Por su parte, el factor raza únicamente muestra significación para los AGS-cm y los AGPI. En cualquier caso, los resultados son muy poco coherentes y no es posible obtener pautas generales. Tampoco el diseño, como se ha comentado, se ha realizado para estimar el efecto de estos factores.

En relación con los AGs de mayor interés alimentario, el isómero $C_{18:29c11t}$ del CLA, parece muy afectado por todos los factores de variación, excepto por la fecha de control que únicamente se muestra significativa al 5%. Los AGs ω -3, ω -6 y su relación, presentan elevados R^2 y están afectados por los efectos raza, fase de lactación y fecha de control.

2.3. Repetibilidades Temporales del Contenido en Ácidos Grasos de la Leche.

Las distintas estimaciones de repetibilidades temporales se presentan en las Tablas R.2.5 y R.2.6. Además de incluir los valores medios de concentración en leche de cada una de las variables, se hace referencia a las repetibilidades entre los ordeños de mañana y de tarde del mismo día (Rd-mt), entre los ordeños de la mañana de días consecutivos (Rd-m), entre los ordeños de la tarde de días consecutivos (Rd-t), entre ordeños semanales (Rs) y, por último, entre ordeños mensuales (Rm).

Tabla R.2.5. Repetibilidades temporales para los caracteres de composición de la leche.

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Rd-mt</i> <i>(n=320)</i>	<i>Rd-m</i> <i>(n=160)</i>	<i>Rd-t</i> <i>(n=160)</i>	<i>Rs</i> <i>(n=288)</i>	<i>Rm</i> <i>(n=128)</i>
Grasa	7,37	41,87	0,00	0,89	0,64	0,55	0,39
Proteína	5,27	8,72	0,76	0,89	0,79	0,64	0,26
Lactosa	4,87	6,98	0,35	0,85	0,30	0,18	0,15
Extracto	18,47	13,55	0,00	0,92	0,66	0,64	0,47
Log (RCS)	5,14	10,35	0,80	0,81	0,82	0,46	0,43

Como es de esperar, y con carácter general, las repetibilidades diarias resultaron superiores a las semanales y estas a las mensuales. Los valores de las repetibilidades parecen ser inversamente proporcionales al tiempo transcurrido entre los dos controles.

Respecto a las variables de composición de la leche, los valores de repetibilidad, excepto para % G, pueden considerarse dentro del rango establecido en otros estudios para este tipo de caracteres, (Delacroix-Buchet *et al.*, 1994; Cappio-Borlido, 1997; Othmane, 2000, Ramón *et al.*, 2006); si bien los valores referentes a la lactosa son mas bajos, debido sin duda a la menor variabilidad de este carácter.

Con relación al % G podemos observar como la Rd-mt no resultó diferente de cero, posiblemente debido al diferente intervalo entre los ordeños de mañana y de tarde, efecto que se traslada al caso del extracto seco. Este efecto también se manifestó en las repetibilidades diarias, con valores más elevados en los controles del ordeño de la mañana que en los del ordeño de la tarde.

Tabla R.2.6. Repetibilidades temporales para la composición de los ácidos grasos.

Variable	Media	CV (%)	Rd-mt (n=320)	Rd-m (n=160)	Rd-t (n=160)	Rs (n=288)	Rm (n=128)
C _{4:0}	2,79	26,95	0,07	0,00	0,18	0,06	0,17
C _{6:0}	2,76	15,42	0,21	0,05	0,34	0,21	0,23
C _{8:0}	3,79	15,40	0,74	0,53	0,60	0,78	0,26
C _{10:0}	9,45	14,39	0,75	0,65	0,42	0,60	0,60
C _{12:0}	5,49	15,44	0,89	0,69	0,62	0,67	0,55
C _{13:0}	0,11	40,66	0,46	0,14	0,36	0,21	0,44
C _{14:0iso}	0,13	26,28	0,83	0,71	0,71	0,48	0,27
C _{14:0}	10,01	11,01	0,74	0,72	0,64	0,58	0,39
C _{15:0iso}	0,27	22,75	0,70	0,44	0,24	0,21	0,05
C _{14:1}	0,48	20,88	0,58	0,44	0,28	0,43	0,20
C _{15:0}	1,19	15,25	0,80	0,78	0,51	0,16	0,19
C _{15:1}	0,29	21,20	0,78	0,44	0,40	0,31	0,05
C _{16:0}	23,21	9,86	0,49	0,54	0,52	0,55	0,35
C _{17:0}	0,43	17,11	0,57	0,30	0,10	0,11	0,00
C _{16:1}	1,05	20,16	0,67	0,50	0,28	0,04	0,00
C _{17:0anti-iso}	0,85	15,75	0,42	0,29	0,35	0,05	0,02
C _{18:0iso}	0,12	82,29	0,05	0,32	0,05	0,10	0,00
C _{17:1}	0,31	49,00	0,65	0,49	0,42	0,32	0,23
C _{18:0}	11,38	16,73	0,83	0,71	0,62	0,65	0,54
C _{18:1t11}	2,33	34,62	0,65	0,70	0,48	0,27	0,00
C _{18:1c9}	15,17	19,43	0,72	0,75	0,47	0,51	0,24
C _{18:1c11}	0,71	20,06	0,69	0,34	0,31	0,15	0,00
C _{18:1c12}	0,65	18,65	0,52	0,31	0,44	0,12	0,00
C _{18:2t}	0,34	25,96	0,53	0,41	0,48	0,14	0,00
C _{18:2c}	3,60	14,00	0,71	0,55	0,78	0,63	0,61
C _{20:0}	0,32	46,07	0,04	0,00	0,40	0,23	0,20
C _{18:3ω6}	0,06	57,08	0,54	0,39	0,58	0,39	0,23
C _{20:1}	0,01	149,33	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
C _{18:3c}	1,10	25,13	0,80	0,68	0,62	0,34	0,08
C _{18:29c11t (CLA)}	0,63	29,93	0,82	0,82	0,78	0,31	0,33
C _{18:210t12c (CLA)}	0,07	33,53	0,41	0,00	0,00	0,02	0,00
C _{21:0}	0,13	34,11	0,63	0,03	0,00	0,21	0,16
C _{22:0}	0,15	19,66	0,60	0,59	0,56	0,06	0,00
C _{20:4}	0,42	24,80	0,64	0,67	0,59	0,44	0,37
C _{23:0}	0,07	36,08	0,54	0,49	0,44	0,31	0,08
C _{24:0}	0,06	29,02	0,64	0,61	0,54	0,20	0,09
AGRUPACIONES e INDICES							
AGS	73,04	4,72	0,75	0,72	0,54	0,53	0,46
AGS-cc	18,81	12,30	0,54	0,33	0,44	0,47	0,44
AGS-cm	17,21	10,27	0,88	0,77	0,65	0,63	0,53
AGS-cl	37,02	6,68	0,66	0,60	0,70	0,66	0,46
AGMI	20,73	15,34	0,77	0,73	0,49	0,52	0,40
AGPI	6,23	12,35	0,72	0,65	0,78	0,52	0,47
I/S	0,38	19,18	0,75	0,60	0,58	0,09	0,46
ω-6	4,14	11,83	0,66	0,51	0,76	0,54	0,62
ω-6/ω-3	4,35	29,53	0,47	0,31	0,36	0,20	0,34
C _{14:1} /C _{14:0}	0,05	39,67	0,11	0,00	0,32	0,35	0,50
C _{16:1} /C _{16:0}	0,04	26,20	0,54	0,39	0,30	0,00	0,00
C _{18:1} /C _{18:0}	1,42	44,99	0,12	0,05	0,64	0,14	0,58
CLA/C _{18:1t11}	0,31	29,15	0,07	0,21	0,06	0,09	0,25

Rd-mt. Repetibilidad diaria ordeño mañana-tarde; Rd-m, Repetibilidad diaria ordeño de mañana.

Rd-t, Repetibilidad diaria ordeño de tarde; Rs, Repetibilidad semanal, Rm, Repetibilidad mensual.

Nivel de significación: *** (P<0,001); ** (P<0,01), * (P<0,05); NS (no significativo).

En lo que se refiere a los valores ofrecidos por los diferentes AGs individualmente, hemos de diferenciar los AGs que se encuentran en muy baja proporción por una parte, los mayoritarios por otra y, por último, aquellos que presentan un claro interés alimentario.

Los AGs cuya proporción en la grasa láctea no alcanza el 1% o lo supera levemente, muestran valores de las diferentes repetibilidades muy diversos, probablemente debido a la menor precisión de su cuantificación, como se observa en la experiencia I.

Los AGs mayoritarios ($C_{10:0}$, $C_{14:0}$, $C_{16:0}$, $C_{18:0}$ y $C_{18:1c9}$), muestran unas repetibilidades acordes con la pauta general, son mayores cuanto menor es el intervalo entre controles, de forma que los valores medios de las repetibilidades diarias, semanales y mensuales, para estos AGs son: 0,62; 0,58 y 0,45. Únicamente el ácido oleico ($C_{18:1c9}$), muestra una repetibilidad mensual relativamente baja. Carta *et al.* (2008) encuentran valores comparables, estudiando la composición en ácidos grasos de la leche de oveja Sarda. Incluso obtienen un valor bajo de la repetibilidad para el ácido oleico (0,20), en semejanza a lo encontrado por nosotros. Por su parte, Soyeurt *et al.* (2006 y 2007), en ganado vacuno, encuentran valores similares a los nuestros y considerados moderadamente altos. De la misma forma que los dos grupos de investigación citados, consideramos que los valores de las repetibilidades encontrados en esta experiencia pueden considerarse altos. Los valores obtenidos en esta experiencia pueden considerarse semejantes a los estimados con anterioridad para otros caracteres de composición de la leche, así como recuento de células somáticas por Fuertes *et al.* (1998). Estimaciones del mismo orden a las mencionadas antes, pero realizadas en rebaños no experimentales, como las realizadas por El-Saied *et al.* (1998b y 1999) y Othmane *et al.* (2002a y 2000), ofrecen valores algo inferiores. En este sentido, las repetibilidades estimadas en esta experiencia, al igual que las publicadas por Carta *et al.* (2008), realizadas en rebaños experimentales, pueden presentar valores más altos a las realizadas sobre rebaños comerciales, especialmente en razas ovinas que, como la Churra, utilizan sistemas de manejo y pautas de alimentación muy variables entre rebaños.

En cuanto a los AG de mayor interés alimentario, el CLA (isómero C_{18:2n-7}), mostró repetibilidades diarias muy altas (0,82; 0,82 y 0,78) y relativamente altas fueron las semanales y mensuales (0,31 y 0,33 respectivamente), valores semejantes a los obtenidos para los AGs mayoritarios y para los publicados por Carta *et al.* (2008), de 0,30. En el ganado vacuno, Soyeurt *et al.* (2006b y 2007) han obtenido estimaciones algo superiores. El ácido linolénico (C_{18:3}) se encuentra en muy poca proporción en la grasa láctea ovina, por lo que las estimaciones de los parámetros implicados en la concentración de este AG no pueden resultar muy precisas. No obstante, este AG ha mostrado un comportamiento similar al encontrado por Carta *et al.* (2008) en la raza Sarda, las repetibilidades diarias, e incluso las semanales, pueden considerarse altas, mientras que las mensuales han resultado ser bajas, 0,08 en nuestro caso y 0,15 en la raza Sarda. Por el contrario, los AG ω -6 han presentado repetibilidades muy altas, tanto diarias como semanales y mensuales. Por último, el ácido linoleico muestra unas repetibilidades superiores a 0,50, sensiblemente mayores que las encontradas por Carta *et al.* (2008), (0,38) y similares a las encontradas por Soyeurt *et al.* (2006a) en ganado vacuno.

En relación con las agrupaciones de AGs, en general las repetibilidades son altas, (superiores a 0,4 en todos los casos y superiores a 0,5 en algunas repetibilidades mensuales), estos valores son sensiblemente mayores que las encontradas para los AG aislados y que las encontradas por Carta *et al.* (2008) para la raza Sarda, con valores entre 0,3 y 0,4.

A modo de recapitulación, se observa que las repetibilidades de los AGs son similares a las de los componentes de la leche (%G y %P), sobre todo en los AGs mayoritarios. En consecuencia concluimos que, como la repetibilidad mensual generalmente es alta, el muestreo en las ovejas de la experiencia III puede hacerse tomando dos muestras por lactación.

3. EXPERIENCIA III: Análisis de la variabilidad genética y estimación de parámetros genéticos de la concentración de ácidos grasos en la leche.

3.1. Estadística descriptiva.

En la Tabla R.3.1 se presentan los valores promedios, expresados en g/100g AG totales, la desviación típica, los valores máximos y mínimos y el coeficiente de variación, para cada uno de los ácidos grasos obtenidos en las muestras analizadas.

Como podemos observar en la Tabla R.3.1, los ácidos grasos detectados presentan una amplia distribución en su cadena carbonada, como en las experiencias anteriores, que varía desde el ácido butírico (C_{4:0}) hasta el lignocérico (C_{24:0}), incluyendo pares, impares, saturados, insaturados, *cis* y *trans*.

El número de estudios realizados sobre la composición en ácidos grasos de la leche ovina son muy limitados. La mayoría presentan objetivos relacionados con la nutrición y utilizan metodologías diferentes. En este sentido, la comparación de nuestros resultados con los publicados hasta ahora resulta un tanto complicada. La mayoría de los trabajos experimentales han sido realizados en un sólo rebaño o estación experimental, pudiendo no ser representativos de la raza. Sin embargo, en nuestro caso esta experiencia III está realizada sobre 14 explotaciones comerciales que explotan animales de la misma raza, la raza Churra, en el curso de los años 2006 y 2007.

En relación con otros estudios realizados tanto en ganado ovino (Carta *et al.*, 2008; Gómez-Cortés *et al.*, 2008; Lock *et al.*, 2006; Nudda *et al.*, 2005), como en caprino (Nudda *et al.*, 2006, Bouattour *et al.*, 2008; Lock *et al.*, 2006), como en vacuno (Huang *et al.*, 2008, Stoop *et al.*, 2008;), la variedad de ácidos grasos detectados ha sido mayor, posiblemente debido a la metodología utilizada, así como a la cantidad de muestras que han sido analizadas.

Antes de nada hemos de comentar que las observaciones realizadas sobre los resultados obtenidos en la experiencia I y II, son totalmente aplicables en este caso. Los AG mayoritarios siguen siendo los mismos, también se han detectado AG de cadena muy larga y de cadena impar y existen un gran número de AGs que no alcanzan una proporción del 1%, entre los que se encuentran los isómeros analizados del CLA.

Tabla R.3.1. Estadística descriptiva (%) de la composición en ácidos grasos de la leche de oveja de raza Churra representativa de la Comunidad de Castilla y León (n=4579).

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Mín.</i>	<i>Max</i>	<i>Desv. Típica (σ)</i>	<i>CV (%)</i>
C _{4:0}	2,80	1,43	5,44	0,50	17,95
C _{6:0}	2,39	0,16	3,97	0,34	14,39
C _{8:0}	3,45	1,76	4,94	0,46	13,48
C _{10:0}	8,61	3,34	12,87	1,39	16,15
C _{12:0}	5,37	2,41	9,42	1,13	21,11
C _{13:0}	0,18	0,01	1,19	0,06	34,72
C _{14:0iso}	0,17	0,01	0,84	0,06	34,55
C _{14:0}	10,18	1,13	15,28	1,44	14,18
C _{15:0iso}	0,47	0,10	1,50	0,14	30,40
C _{14:1}	0,76	0,29	10,81	0,22	29,38
C _{15:0}	1,39	0,24	2,08	0,23	16,14
C _{16:0 iso}	0,47	0,04	1,00	0,11	23,59
C _{16:0}	22,04	10,79	32,66	2,41	10,97
C _{17:0}	1,00	0,02	3,02	0,48	47,66
C _{16:1}	1,64	0,69	3,37	0,34	20,58
C _{17:0anti-iso}	1,17	0,01	2,35	0,22	19,19
C _{18:0iso}	0,12	0,01	0,66	0,08	62,33
C _{17:1}	0,41	0,01	4,69	0,19	45,32
C _{18:0}	10,50	2,46	16,90	2,18	20,77
C _{18:1t11}	2,53	1,02	4,52	0,45	17,94
C _{18:1e9}	15,35	9,53	26,33	2,24	14,57
C _{18:1e11}	0,74	0,23	1,20	0,13	17,94
C _{18:1e12}	0,65	0,18	4,00	0,13	19,72
C _{18:2t}	0,40	0,01	3,18	0,34	84,04
C _{18:2c}	3,47	0,37	6,86	0,63	18,10
C _{20:0}	0,38	0,01	1,15	0,16	41,83
C _{18:3ω6}	0,06	0,00	0,74	0,04	64,57
C _{20:1ω9c}	0,02	0,17	0,34	0,01	72,93
C _{18:33c}	1,22	0,07	4,84	0,54	43,91
C _{18:29e11t (CLA)}	0,89	0,01	3,12	0,43	48,87
C _{18:210t12c (CLA)}	0,02	0,01	0,74	0,01	78,25
C _{21:0}	0,16	0,02	0,83	0,09	58,32
C _{22:0}	0,18	0,81	0,81	0,07	40,86
C _{20:4ω6}	0,48	0,02	1,68	0,14	29,82
C _{23:0}	0,16	0,01	0,69	0,06	37,85
C _{24:0}	0,14	0,01	0,64	0,05	38,02
AGRUPACIONES e INDICES					
AGS	71,35	56,81	81,16	3,54	4,97
AGS-cc	17,25	10,50	24,21	1,96	11,34
AGS-cm	17,77	9,30	26,23	2,50	14,09
AGS-cl	36,32	27,52	45,22	2,51	6,91
AGMI	22,10	18,85	35,73	2,87	12,37
AGPI	6,54	2,55	11,79	1,29	19,76
I/S	0,40	0,23	0,76	0,07	17,67
ω -6	4,01	0,95	7,59	0,67	16,80
ω -6/ ω -3	4,01	0,78	16,89	2,11	52,89
C _{14:1} /C _{14:0}	0,08	0,02	1,34	0,03	37,70
C _{16:1} /C _{16:0}	0,08	0,03	0,15	0,02	23,81
C _{18:1} /C _{18:0}	1,51	0,74	7,99	0,33	21,69
CLA/C _{18:1t11}	0,35	0,02	1,21	0,15	42,08

Del análisis de la Tabla R.3.1 destaca la gran magnitud del rango de variación observado en la mayor parte de los AGs, lo que acarrea altos valores para las desviaciones típicas y para los coeficientes de variación. La mayor parte de los autores encuentran una situación semejante (Carta *et al.*, 2008; Talpur *et al.*, 2008), aunque en nuestro caso los rangos resultan ser mas amplios, debido posiblemente a las grandes diferencias de manejo y de pauta de alimentación presentes en los rebaños utilizados en nuestra experiencia.

Es de destacar que el AG C_{4:0} se encuentran en una baja, pero no despreciable proporción, alcanzando casi un 3%, a pesar de ser el AG más volátil. Del resto de los AG de cadena corta destaca el ácido cáprico C_{10:0} que, con una media del 8,61%, ocupa el puesto número cinco entre los mayoritarios. En relación con los ácidos grasos de cadena corta, los resultados ofrecidos tanto por Carta *et al.* (2008) en animales cruzados entre Lacaune y Sarda, como por Talpur *et al.* (2008) en dos razas autóctonas pakistaníes, ofrecen una mayor proporción del C_{4:0}, y semejante del C_{6:0}. Teniendo en cuenta que las muestras utilizadas por Carta *et al.* (2008) corresponden a un rebaño experimental y nuestras muestras se han tomado del control lechero oficial, es muy probable que, en nuestro caso, debido a la volatilidad del C_{4:0}, la proporción resulte menor. Algo semejante puede comentarse de otros resultados como los presentados por Gómez-Cortés *et al.* (2008) y Lock *et al.* (2006), ambos ofrecen valores más altos para el C_{4:0} y más variables para el C_{6:0}, pero en todos los casos el AG mayoritario es el cáprico (C_{10:0}) (Gómez-Cortés *et al.*, 2008) y un 3,54% (Lock *et al.*, 2006).

En cuanto a los AGs de cadena media (un 17,77% del total), destaca cuantitativamente el ácido mirístico (C_{14:0}) con un 10,18%. Proporciones semejantes aportan diversos autores: Lock *et al.*, (2006), Carta *et al.* (2008), (Gómez-Cortés *et al.*, 2008) y Talpur *et al.*, (2008).

El grupo más abundante de ácidos grasos correspondió a los de cadena larga, con 16 o más átomos de carbono. En nuestro caso destacan el palmítico (C_{16:0}), con un 22,04%, el oleico (C_{18:1n7c}), con el 15,35% y el esteárico (C_{18:0}), con un 10,50%. El resto de los ácidos grasos de cadena larga no llegan a una proporción del 1-2%, salvo el vaccénico (C_{18:1n7t11}), con un 2,53% y el linolenico (C_{18:3c3}), con el 3,47%. Entre los ácidos grasos de cadena muy larga aparecen, araquídico (C_{20:0}), gondoico (C_{20:1n9c}),

heneicosanoico (C_{21:0}), behénico (C_{22:0}), araquidónico (C_{20:4ω6}), tricosanoico (C_{23:0}) y lignocérico (C_{24:0}), pero en proporción muy baja, que en conjunto no alcanza el 1%. Carta *et al.*, (2008) no identifican AG con más de 18 átomos de carbono, mientras que si lo hacen Talpur *et al.*, (2008). En cuanto a las proporciones, se aprecian ligeras diferencias entre las estimaciones de estos dos autores y las nuestras, aunque se mantienen los mismo AG mayoritarios. Incluso Talpur *et al.*, (2008) encuentran diferencias de cierta magnitud entre las dos razas ovinas que analizan. Por último, es de destacar la presencia de los ácidos tridecanoico (C_{13:0}), pentadecanoico (C_{15:0}) y heptadecanoico (C_{17:0}), con un número impar de átomos de carbono, aunque el C_{13:0} en una proporción muy baja (0,18%) y el C_{15:0} y el C_{17:0} con proporciones de 1,39% y 1,00%, respectivamente. Carta *et al.*, (2008) únicamente identifican el C₁₅ y el C₁₇, en proporciones también muy bajas, mientras que Talpur *et al.*, (2008) hace referencia al C₁₇, como único AG de cadena impar.

Tanto la grasa láctea de cabra como la de vaca presentan un espectro semejante de ácidos grasos, aunque con ligeras diferencias. La proporción de ácidos grasos de cadena corta parece menor en la leche de cabra que en la de oveja (Nudda *et al.*, 2005; Bouattour *et al.*, 2008; Lock *et al.*, 2006). Sin embargo, la leche de vaca parece presentar valores semejantes a los obtenidos por nosotros (Stoop *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2008). El AG de cadena corta mayoritario es el cáprico (C_{10:0}), aunque los resultados en vaca no son tan claros como en las otras dos especies, de forma que el ácido láurico (C_{12:0}) lo supera en algunos estudios, lo mismo sucede con las razas ovinas pakistaníes analizadas por Talpur *et al.* (2008). El AG de cadena media mayoritario sigue siendo, tanto en la cabra como en la vaca, el mirístico (C_{14:0}). Los ácidos grasos mayoritarios son en todos los casos los de cadena larga, manteniéndose el palmítico como el más abundante, llegando a alcanzar proporciones superiores al 35% (Nudda *et al.*, 2006). El esteárico y el oleico son los otros dos AG mayoritarios, tanto en leche caprina como en bovina.

Con respecto al contenido en CLA, los valores encontrados en nuestro estudio se aproximan al 1%, mayoritariamente correspondiente al ácido ruménico (C_{18:2 c9t11}-CLA), el que exhibe más interés desde el punto de vista biológico, asociado a sus propiedades anticarcinogénicas. Este valor es ligeramente inferior al ofrecido por Carta

et al. (2008), que supera esta media y al obtenido por Nudda *et al.* (2005) que prácticamente lo dobla, pero es superior al reportado por Talpur *et al.* (2008), aunque las diferencias no son excesivas. Hemos de tener en cuenta que la terminología CLA engloba una serie de isómeros diferentes y que no todos son identificados en los distintos estudios. El resto de los estudios consultados muestran valores semejantes al nuestro (Gómez-Cortés *et al.*, 2008 y Lock *et al.*, 2006). Los resultados obtenidos en leche de cabra parecen ser inferiores, con porcentajes comprendidos entre 0,5 y 0,7 (Nudda *et al.*, 2006; Bouattour *et al.*, 2008; Lock *et al.*, 2008). Incluso son más bajos los porcentajes medidos en leche de vaca, con valores de 0,4% (Stoop *et al.*, 2008 y Huang *et al.*, 2008) y 0,35 (Mele *et al.*, 2009).

Con respecto a las agrupaciones propuestas, los ácidos grasos más abundantes en la leche ovina de raza Churra, son los saturados (71,35%), siendo el mayoritario el palmítico (C_{16:0}), con un 22,04, seguidos de los monoinsaturados (22,10%), destacándose el oleico (C_{18:1c9}), con un 15,35% y por último en proporciones muy bajas, los poliinsaturados (6,54%), observándose los mayores porcentajes en el linoleico (C_{18:2c}), con un 3,47%. Si comparamos nuestros resultados con los de Talpur *et al.* (2008), podemos observar porcentajes más bajos de AGS en las dos razas estudiadas, (67% y 58%), más altos de AGMI (25% y 30%) y mucho más bajos de AGPI (alrededor del 3% en ambas razas). Al comparar nuestros resultados con los de Carta *et al.* (2008), nos encontramos con que la suma de AG saturados e insaturados, en la tabla correspondiente, no es correcta, por lo que intuimos algún error en la presentación de los resultados que no aconseja su utilización en la discusión.

Es de destacar la enorme variabilidad individual observada para estos índices. En algunas muestras el valor de AGMI superó el 35% y en otras los AGPI supusieron en torno al 11%. Estas variabilidades individuales no resultan fáciles de justificar y pueden constituir un indicio de diversidad genética.

En relación con el ganado caprino, los resultados de Bouattour *et al.* (2008) son comparables a los nuestros, respecto a la proporción de las distintas agrupaciones de los ácidos grasos, AGS (73%), AGMI (19%) y AGPI (4,6%), si bien la proporción de AGS es ligeramente mayor, en detrimento de los grupos restantes. Esto puede interpretarse en el sentido de que la grasa láctea de mejor calidad cardiosanitaria sería la de oveja. Algo

similar puede decirse de la grasa láctea bovina que presenta unas concentraciones de AGS, 67%, AGMI, 29%, y AGPI, 3%, (Bobe *et al.*, 2008).

En cuanto a las medidas de dispersión (Tabla R.3.1), en general las desviaciones típicas pueden considerarse alta, destacando entre todos el ácido palmítico (C_{16:0}) y el ácido oleico (C_{18:1c}), con una desviación de 2,41 y 2,24, respectivamente. También los coeficientes de variación pueden considerarse altos, en general, aunque los valores son muy variados, oscilando entre 10,97 y 84,04 (este valor máximo corresponde a un ácido graso que presenta una proporción muy baja (0,40%). Menor variabilidad se encuentra en los resultados de Talpur *et al.* (2008), aunque los valores siguen siendo altos, de la misma forma que los encontrados por Carta *et al.* (2008) y por los autores en las tres especies de rumiantes (Stop *et al.*, 2008, Schennink *et al.*, 2008). Así, en ganado vacuno Mele *et al.* (2009) obtienen unos CV que oscilan entre 16 y 37 %, muy inferiores a los de nuestra población. De nuevo hemos de justificar nuestros resultados, debido a que disponemos de muestras que corresponden a una población comercial.

En la tabla R3.1 dentro del apartado “agrupaciones”, se ha considerado, además del grado de saturación, otros criterios para agrupar a los AGs. La relación Insaturados/Saturados promedio se estima en 0,4. Carta *et al.* (2008) encuentran unos resultados similares para esta relación. Sin embargo, los promedios para esta relación aportados por Talpur *et al.* (2008) son de 0,42 para una raza y 0,56 para la otra. La relación entre ácidos grasos saturados e insaturados parece muy similar en tres de las razas estudiadas hasta ahora y claramente diferente en la cuarta. Sin embargo, cuando se estudian los resultados obtenidos por Signorelli *et al.* (2008) nos encontramos con valores diferentes en los promedios de índices en cada una de las tres razas analizadas, 0,46 para Altamura, 0,49 para Gentile di Puglia y 0,55 para Sarda. No parece existir una pauta general y esta relación parece variar con la raza, entre valores de 0,4 a 0,56.

En la mayor parte de los estudios no se ofrecen valores de AG ω -6. Sin embargo, resulta de interés para estimar la relación ω -6/ ω -3, de interés alimentario. En nuestro caso, se han obtenido valores medios de 4,01 tanto para la agrupación ω -6 como para la relación ω -6/ ω -3. Se trata de un valor que confiere a la grasa láctea ovina unas buenas cualidades sanitarias.

El resto de los índices estudiados presentan valores promedio que difieren ligeramente de los obtenidos por Carta *et al.* (2008). En concreto, la relación entre el CLA y el ácido vaccénico (C_{18:1t11}), su precursor en la glándula mamaria, es de 0,35 en nuestro caso y de 0,53 en el caso de Carta *et al.*, (2008). Según nuestras estimaciones, el ácido vaccénico se encuentra en mayor proporción y el CLA en menor, razón por la cuál esta relación puede presentar valores diferentes. Algo semejante ocurre con el resto de las relaciones entre AGMI y AGS del mismo número de átomos de carbono.

Finalmente indicaremos que los índices que miden la actividad de desaturación, entre ellos el CLA/vaccenico, generalmente son inferiores a 1 excepto para la relación C_{18:1}/C_{18:0} que tiene un valor superior a 1 tanto en la raza Churra (1,51) como en otras razas de ganado ovino (Carta *et al.*, 2008, Lock *et al.*, 2006) y ganado vacuno (Kay *et al.*, 2005, Mele *et al.*, 2009 y Schennink *et al.*, 2008).

3.2. Correlaciones fenotípicas entre los ácidos grasos.

Los coeficientes de correlación de Pearson entre los porcentajes de los AGs individuales se presentan en la tabla R.3.2. Con objeto de simplificar la presentación de los resultados, únicamente se han incluido los AGs cuyo porcentaje supera el 1% excepto el C_{14:1}. Como puede observarse, los valores de las correlaciones son muy variados y tanto positivos como negativos. Es de destacar el hecho de que las correlaciones más altas suelen observarse entre AGs con cadena carbonada de similar longitud. También es destacable el hecho de que pocos coeficientes superan un 0,5 de valor absoluto.

Globalmente podríamos contemplar dos grupos de AGs, uno formado por los de cadena corta-media entre C₈ y C₁₆ y otro formado por los C₁₈ mayoritariamente insaturados. Las correlaciones son positivas entre los AG que constituyen cada grupo y negativas entre los dos grupos.

Estos valores se pueden interpretar biológicamente y se pueden explicar por las similitudes en su origen, es decir, si se sintetizan “de novo” o pasan directamente de la sangre a la leche, Bobe *et al.* (1999). La correlación más destacable ($r = 0.47$) se observó entre el CLA (C_{18:2c9t11}) y el vaccenico (C_{18:1t11}). Peterson *et al.* (2002), en el ganado vacuno, observaron una correlación de 0,61 entre ambos AG, estos autores atribuyen esta correlación a la asociación existente entre precursor y producto de síntesis endógena mediada por la Δ^9 -desaturasa. También se obtuvieron coeficientes de correlación relativamente altos entre el C_{18:0} y los ácidos linolenico, oleico y vaccenico: 0,30, 0,37 y 0,38 respectivamente. Los coeficientes de correlación son más elevados entre AG con un número de carbonos próximo, por ejemplo C₁₀-C₁₂ (0,79) o C₁₂-C₁₄, (0,73), lo cual es explicado igualmente por la similitud de su origen. Sin embargo, la correlación entre C₁₆ y C₁₈ es negativa (-0,31), lo que puede explicarse por tratarse de un AG con distinto origen.

Respecto al CLA, como era de esperar, presenta correlaciones positivas con los C₁₈ por ser de su grupo, pero más altas con sus dos precursores vaccénico (C_{18:1t11}) y oleico (C_{18:1c9}).

Tabla R.3.2. Matriz de coeficientes de correlación entre los contenidos de los principales ácidos grasos determinados en la leche de oveja de raza Churra (n= 4579).

	C _{6:0}	C _{8:0}	C _{10:0}	C _{12:0}	C _{14:0}	C _{14:1}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:0}	C _{18:1t11}	C _{18:1c9}	C _{18:2c}	C _{18:3c}	CLA _{c9t11}
C _{4:0}	0,49	0,18	0,08	0,04	0,00	-0,05	-0,01	-0,07	-0,05	-0,21	-0,14	-0,05	-0,05	-0,14
C _{6:0}	----	0,38	0,18	0,16	0,05	-0,03	-0,03	-0,19	-0,06	-0,26	-0,24	-0,03	-0,06	-0,19
C _{8:0}		----	0,50	0,38	0,13	-0,10	-0,05	-0,25	-0,20	-0,39	-0,39	-0,00	0,05	-0,14
C _{10:0}			----	0,79	0,64	-0,10	0,13	-0,08	-0,51	-0,65	-0,65	-0,22	-0,25	-0,28
C _{12:0}				----	0,73	-0,04	0,09	0,01	-0,56	-0,66	-0,61	-0,20	-0,28	-0,37
C _{14:0}					----	-0,02	0,29	0,15	-0,62	-0,64	-0,59	-0,35	-0,36	-0,38
C _{14:1}						----	-0,14	0,17	-0,11	-0,01	-0,01	-0,03	0,09	0,13
C _{16:0}							----	-0,05	-0,31	-0,26	-0,51	-0,29	-0,29	-0,30
C _{16:1}								----	-0,36	0,16	0,06	-0,20	-0,04	0,27
C _{18:0}									----	0,38	0,37	0,30	0,04	-0,03
C _{18:1t11}										----	0,62	0,12	0,21	0,47
C _{18:1c9}											----	0,15	0,17	0,30
C _{18:2c}												----	0,20	0,02
C _{18:3c}													----	0,29

Tabla R.3.3. Matriz de coeficientes de correlación entre los ácidos grasos de la leche y las agrupaciones o índices de interés.

	AGS	Ags-cc	Ags-cm	Ags-cl	AGMI	AGPI	Ins/Sat	$\omega 6/\omega 3$	C _{14:1} /C _{14:0}	C _{16:1} /C _{16:0}	C _{18:1} /C _{18:0}	CLA/C _{18:1+11}
C _{4:0}	0,19	0,44	0,02	-0,10	-0,18	-0,13	-0,18	0,05	-0,04	-0,04	-0,05	-0,08
C _{6:0}	0,28	0,52	0,11	-0,12	-0,29	-0,16	-0,28	0,03	-0,04	-0,15	-0,12	-0,11
C _{8:0}	0,38	0,71	0,25	-0,27	-0,44	-0,06	-0,38	-0,13	-0,12	-0,19	-0,06	-0,01
C _{10:0}	0,71	0,88	0,73	-0,41	-0,71	-0,38	-0,70	0,12	-0,31	-0,14	0,07	-0,07
C _{12:0}	0,68	0,69	0,90	-0,47	-0,66	-0,40	-0,67	0,18	-0,30	-0,05	0,14	-0,16
C _{14:0}	0,69	0,49	0,94	-0,34	-0,62	-0,52	-0,68	0,24	-0,41	-0,02	0,22	-0,17
C _{14:1}	-0,12	-0,12	0,04	-0,11	0,10	0,10	0,12	-0,06	0,85	0,21	0,09	0,16
C _{16:0}	0,57	0,07	0,18	0,57	-0,50	-0,46	-0,57	0,17	-0,22	-0,52	-0,03	-0,25
C _{16:1}	-0,20	-0,17	0,13	-0,28	0,23	0,03	0,21	0,05	0,07	0,86	0,41	0,24
C _{18:0}	-0,32	-0,43	-0,66	0,55	0,33	0,15	0,30	0,00	0,14	-0,16	-0,73	-0,18
C _{18:1+11}	-0,75	-0,66	-0,71	0,16	0,76	0,38	0,74	-0,11	0,23	0,26	0,03	0,11
C _{18:1e9}	-0,88	-0,63	-0,64	-0,12	0,96	0,29	0,89	-0,06	0,21	0,31	0,30	0,11
C _{18:2c}	-0,32	-0,18	-0,31	-0,01	0,12	0,60	0,30	0,02	0,11	-0,03	-0,16	0,00
C _{18:3c}	-0,43	-0,19	-0,30	-0,16	0,21	0,72	0,43	-0,78	0,22	0,10	0,05	0,25
C _{18:2c+11}	-0,56	-0,30	-0,38	-0,17	0,41	0,61	0,55	-0,24	0,25	0,38	0,25	0,92
AGRUPACIONES E INDICES												
AGS	----	0,69	0,71	0,16	-0,94	-0,66	-0,99	0,24	-0,35	-0,45	-0,28	-0,33
Ags-cc		----	0,60	-0,40	-0,70	-0,34	-0,69	-0,07	-0,26	-0,18	0,00	-0,10
Ags-cm			----	-0,46	-0,67	-0,48	-0,70	0,19	-0,33	0,01	0,22	-0,14
Ags-cl				----	-0,11	-0,19	-0,17	0,10	0,04	-0,51	-0,62	-0,26
AGMI					----	0,36	0,94	-0,09	0,30	0,45	0,31	0,17
AGPI						----	0,64	-0,47	0,28	0,25	0,07	0,53
Ins./Sat.							----	-0,25	0,34	0,46	0,29	0,33
$\omega 6/\omega 3$								----	-0,14	-0,04	-0,02	-0,23
C _{14:1} /C _{14:0}									----	0,17	-0,01	0,20
C _{16:1} /C _{16:0}										----	0,37	0,33
C _{18:1} /C _{18:0}											----	0,27

AGS: ácidos grasos saturados; AGS-cc: (C_{4:0} – C_{10:0}); AGS-cm: (C_{12:0} – C_{15:0}); AGS-cl (C_{16:0} – C_{24:0}); AGMI: ácidos grasos monoinsaturados, AGPI: ácidos grasos poliinsaturados.

En la Tabla R.3.3 se presentan las correlaciones existentes entre los ácidos grasos más importantes y las agrupaciones de mayor interés. El grupo AGS, representado en la Tabla R.3.3, presenta una correlación alta y positiva con los ácidos grasos saturados mayoritarios, Cáprico (C_{10:0}), Láurico (C_{12:0}), Mirístico (C_{14:0}) y Palmítico (C_{16:0}) y una correlación alta, pero negativa (-0,75 y -0,88) con los ácidos grasos eláidico (C_{18:1t11}) y oleico (C_{18:1c9}), ambos ácidos grasos monoinsaturados.

En la Tabla R.3.2 se ha observado que estos dos ácidos grasos monoinsaturados, presentan correlaciones altas y negativas con los AGS: Cáprico (C_{10:0}), Láurico (C_{12:0}) y Mirístico (C_{14:0}). Además, estos tres AGS, están alta y negativamente correlacionados con el índice Ins./Sat. Existe una clara concordancia de resultados que permite deducir la existencia de una relación clara entre estos tres AGS y los dos AGMI citados anteriormente, cuya interpretación biológica no parece sencilla.

Todos los AG C₁₈ presentan correlación negativa más o menos alta con el grupo AGS, tanto los de cadena corta (por ser de diferente origen) como los de cadena larga (porque tienen como precursor mayoritariamente al C_{18:0}).

Los AGS de cadena corta presentan correlaciones altas y positivas con todos los AG que componen esta agrupación, siendo más altas con los menos volátiles, como es de esperar. Los AGS de cadena media están muy correlacionados de forma positiva con los AG: Láurico (C_{12:0}) y Mirístico (C_{14:0}), que constituyen el bloque principal de AGS de cadena media, además de con el Cáprico (C_{10:0}). De la misma forma, los AGS de cadena larga muestran las mayores correlaciones con los dos AGS de cadena larga mayoritarios, el palmítico (C_{16:0}) y el esteárico (C_{18:0}).

Los ácidos grasos C_{10:0}, C_{12:0}, C_{14:0}, con relación al grupo de AGMI, presentan correlaciones elevadas y negativas, semejantes en magnitud a la correlación con los AGS pero con valores positivos. Se trata de una correlación biológicamente comprensible, ya que los valores son porcentuales, por lo que, a mayor proporción de AGS (los mayoritarios son los AG C_{10:0}, C_{12:0}, C_{14:0}), menor de AGMI y AGPI. Este aspecto queda patente en la alta correlación entre los AGS y los AGMI, que alcanza valores de -0,94.

En el caso de los AGPI, se observa una correlación elevada y negativa con los ácidos mirístico (C_{14:0}) y palmítico (C_{16:0}) (del orden del -0,52 y -0,46, respectivamente)

y una correlación, positiva bastante alta, con cada uno de los AGPI individuales: ácido linoleico ($C_{18:2c}$) (0,60), ácido linolénico ($C_{18:3c}$) (0,72) y, por último, con el ácido linoleico conjugado ($C_{18:2c9t11}$) (0,61).

Cuando observamos las correlaciones del CLA ($C_{18:2c9t11}$), verificamos que existe una relación moderada (0,53) con el grupo de los AGPI, del que forma parte. La relación del CLA, con los restantes grupos, AGS y AGMI es baja, siendo esta correlación negativa (-0,33) con los AGS y positiva con los AGMI (0,17).

Tabla R.3.4. Coeficientes de correlación entre la composición de ácidos grasos y los caracteres de composición y cantidad de la leche de ovejas de raza Churra.

AG	% G	% P	% ES	Ledía	Le 120
$C_{4:0}$	-0,13	-0,09	-0,12	0,02	-0,04
$C_{6:0}$	-0,10	-0,13	-0,12	0,11	-0,01
$C_{8:0}$	-0,23	-0,17	-0,18	0,15	0,04
$C_{10:0}$	-0,33	-0,08	-0,24	0,06	-0,02
$C_{12:0}$	-0,17	0,08	-0,10	-0,01	0,01
$C_{14:0}$	-0,09	0,21	-0,04	-0,07	0,00
$C_{14:1}$	-0,08	0,02	0,06	0,01	0,02
$C_{16:0}$	-0,10	-0,02	-0,08	0,00	-0,05
$C_{16:1}$	0,11	0,23	0,12	-0,20	-0,10
$C_{18:0}$	0,13	-0,17	0,07	0,05	0,00
$C_{18:1t11}$	0,19	0,03	0,14	-0,07	-0,04
$C_{18:1c9}$	0,26	0,08	0,19	-0,07	0,00
$C_{18:2c}$	-0,02	-0,12	-0,01	0,12	0,17
$C_{18:3c}$	-0,02	-0,06	-0,01	0,07	0,07
$C_{18:29c11t}$	0,14	0,05	0,14	-0,06	0,00
AGS	-0,24	-0,06	-0,18	0,06	-0,02
Ags-cc	-0,34	-0,14	-0,27	0,10	-0,02
Ags-cm	-0,12	0,18	-0,05	-0,04	0,01
Ags-cl	0,05	-0,16	0,01	0,05	-0,03
AGMI	0,28	0,10	0,20	-0,09	-0,02
AGPI	0,04	-0,04	0,05	0,04	0,10
Ins./Sat.	0,24	0,07	0,18	-0,07	0,02
$\omega 6/\omega 3$	0,00	0,02	-0,04	-0,07	-0,03
$C_{14:1}/C_{14:0}$	0,08	-0,05	0,06	0,02	0,02
$C_{16:1}/C_{16:0}$	0,15	0,20	0,15	-0,17	-0,07
$C_{18:1}/C_{18:0}$	0,04	0,20	0,05	-0,10	0,01
CLA/$C_{18:1t11}$	0,10	0,05	0,11	-0,04	0,04
Grasa	----	0,55	0,93	-0,35	-0,05
Proteína		----	0,69	-0,44	-0,07
Eseco			----	-0,35	-0,03
Ledía				----	0,66

%G: Porcentaje de contenido graso %P: Porcentaje de contenido proteico.

%ES: Porcentaje de contenido en extracto seco; Ledía: Leche ordeñada en el día (litros);

Le120: Producción de leche total estandarizada a 120 días (litros).

La correlación entre los índices que miden la actividad de desaturación son muy bajas entre -0,01 y 0,37.

En la Tabla R.3.4 se ofrecen los valores de los coeficientes de correlación lineal, entre los diferentes AG y sus agrupaciones e índices de interés, y los porcentajes de grasa, proteína y sólidos totales en la leche, por una parte, y la producción láctea el día de recogida de la muestra y en la lactación estandarizada a 120 días, por otra.

Las correlaciones entre la concentración de ácidos grasos y los caracteres de composición y cantidad de leche son muy bajas, por los que se concluye que, al menos fenotípicamente, estos caracteres son bastante independientes.

Las correlaciones más altas se encontraron entre los caracteres de composición, % de grasa (% G) y % de proteína (% P), alcanzando un valor moderado y estadísticamente significativo (0,55). Esta correlación es semejante a las obtenidas en estudios anteriores realizados sobre la misma raza (Fuertes *et al.*, 1998 y Othmane, 2002b) y en otras como la como la Sarda (Casu *et al.*, 1975) y la Lacaune (Barillet, 1985 y Pelligrini *et al.*, 1996).

3.3. Análisis de factores ambientales de varianza.

Los resultados correspondientes al ANOVA que recoge los factores de variación no genéticos se presentan en la Tabla R.3.5.

En la referida tabla se presentan los datos relativos al análisis de varianza para cada uno de los ácidos grasos mayoritarios por separado y para las agrupaciones, en relación a los factores de variación analizados: rebaño, fecha de control (día de la recogida de la muestra de leche), fase de la lactación (meses) y edad de la oveja (5 categorías), también se incluyen como covariables el porcentaje de grasa y la producción de leche total, e igualmente se presentan los valores del coeficiente de determinación R^2 para cada carácter.

Los resultados obtenidos muestran que los efectos fijos del rebaño y del día del control, resultaron altamente significativos ($P < 0,001$), para todos los ácidos grasos esterificados de la leche ovina Churra y para todas sus agrupaciones e índices, aunque, como veremos en la tabla R.3.6, es el día de control el factor que mayor porcentaje de varianza explica. El resto de los factores muestra un comportamiento variable.

En la Tabla R.3.6 se expone la contribución porcentual de cada uno de los factores fijos estudiados, a la varianza fenotípica total. El resultado se muestra como porcentaje de la varianza total. El primer aspecto destacable es la gran variabilidad observada, aún teniendo en cuenta las bajas proporciones de algunos ácidos grasos. En segundo lugar, destaca la escasa variabilidad residual, especialmente para los AG mayoritarios y para las asociaciones, lo que indica la abundante cantidad de varianza explicada por el modelo. Para la mayoría de los ácidos grasos, la varianza es mayoritariamente explicada por el factor *día de control*, hasta un 68,26% en el caso del ácido linolenico ($C_{18:3c3}$) y 60,71% en el caso del CLA. En menor grado contribuye el factor rebaño, y con una proporción muy baja el resto de factores, incluida la oveja.

Debido al alto porcentaje de varianza explicado por los 2 factores asociados al rebaño, el porcentaje total de varianza explicada por el modelo matemático (R^2) fue muy alta, entre el 54 y 79%, para las 27 variables estudiadas. Estos resultados confirman la elevada dependencia de las variables dependientes de los factores de variación no genéticos, estando algunos de ellos asociados a la alimentación y recogidos a través de los dos factores citados, rebaño y día de control subordinado a rebaño.

Tabla R.3.5. ANOVA de los caracteres de concentración de ácidos grasos y las agrupaciones e índices.

Variable	Factores de variación				Covariables		R ²
	Rebaño	Día de Control	Fase lactación	Edad	% G	Leche	
C _{4:0}	***	***	NS	NS			0,48
C _{6:0}	***	***	*	NS		**	0,51
C _{8:0}	***	***	*	***	***		0,48
C _{10:0}	***	***	***	***	***		0,62
C _{12:0}	***	***	NS	***	***		0,64
C _{14:0}	***	***	***	***	***	*	0,68
C _{14:1}	***	***	*	NS	*		0,27
C _{16:0}	***	***	NS	*		***	0,57
C _{16:1}	***	***	***	NS	**		0,63
C _{18:0}	***	***	***	**	***	*	0,68
C _{18:1t11}	***	***	**	***	***		0,72
C _{18:1c9}	***	***	*	**	***		0,70
C _{18:2c}	***	***	NS	***			0,66
C _{18:3c}	***	***	**	NS			0,79
C _{18:2c9t11} (CLA)	***	***	***	**	***		0,79
AGRUPACIONES e INDICES							
AGS	***	***	*	***	***	*	0,74
Ags-cc	***	***	**	***	***		0,71
Ags-cm	***	***	***	***	***		0,71
Ags-cl	***	***	***	***	***		0,54
AGMI	***	***	**	***	***	*	0,71
AGPI	***	***	**	***			0,77
Ins./Sat.	***	***	**	***	***	**	0,74
ω6/ω3	***	***	**	NS		*	0,81
C _{14:1} /C _{14:0}	***	***	NS	NS	*	*	0,24
C _{16:1} /C _{16:0}	***	***	*	NS	**	**	0,57
C _{18:1} /C _{18:0}	***	***	***	NS	*		0,55
CLA/C _{18:1t11}	***	***	***	**	*		0,70

Nivel de significación: *** (P<0,001); ** (P<0,01), * (P<0,05); NS (no significativo).

Tabla R.3.6 - Porcentaje de varianza explicada por cada uno de los factores de variación.

Variable	Rebaño	Día de control	Fase lactación	Edad	Oveja	Residual
C _{4:0}	0,00	44,73	0,12	0,00	0,00	55,15
C _{6:0}	0,17	46,02	0,87	0,00	1,11	51,83
C _{8:0}	0,22	43,70	0,43	0,43	3,88	51,35
C _{10:0}	15,96	42,34	0,61	0,81	4,41	35,86
C _{12:0}	23,69	37,47	0,07	0,73	4,78	33,26
C _{14:0}	25,06	37,43	0,45	2,22	3,81	31,03
C _{14:1}	7,37	21,63	0,50	0,02	1,47	69,01
C _{16:0}	3,67	49,62	0,06	0,12	1,87	44,65
C _{16:1}	17,22	42,65	1,38	0,03	2,02	36,71
C _{18:0}	30,46	34,62	0,82	0,23	3,67	30,21
C _{18:1t11}	17,03	49,05	0,24	0,99	1,25	31,43
C _{18:1e9}	19,56	45,46	0,10	0,62	1,94	32,32
C _{18:2c}	26,60	40,16	0,00	1,42	4,72	27,10
C _{18:3c}	8,76	68,26	0,29	0,05	1,15	21,48
C _{18:1 e9t11 (CLA)}	12,08	60,71	1,39	0,13	1,14	24,54
AGRUPACIONES e INDICES						
AGS	17,43	51,19	0,34	1,20	2,55	27,29
Ags-cc	10,37	44,63	0,89	0,80	3,75	39,56
Ags-cm	29,83	36,70	0,45	1,50	3,85	27,68
Ags-cl	12,04	36,07	0,86	0,46	4,47	46,09
AGMI	20,17	45,83	0,23	0,87	2,36	30,55
AGPI	2,37	70,48	0,51	0,93	3,57	22,13
Ins./Sat.	16,53	51,60	0,34	1,17	2,45	27,90
ω6/ω3	13,57	64,37	0,10	0,01	1,68	20,27
C _{14:1/C14:0}	5,93	18,98	0,00	0,02	1,42	73,65
C _{16:1/C16:0}	11,04	45,45	0,09	0,00	0,00	43,42
C _{18:1/C18:0}	21,21	28,45	1,63	0,00	4,21	44,51
CLA/C _{18:1t11}	7,75	45,53	17,95	0,11	1,03	27,63
Global	13,93	44,56	1,13	0,55	2,54	37,29

El porcentaje de varianza explicada para el efecto *Rebaño* estuvo comprendido para la mayoría de las variables más representativas, entre el 10 y el 30%. Esto indica que hubo una importante variabilidad entre rebaños en los contenidos de AGs, debido a

que en el caso de la raza Churra existe mucha variabilidad en el sistema de producción (alimentación, manejo, etc.) entre los rebaños.

En los caracteres de agrupamiento e índices, el comportamiento es similar al observado para los caracteres simples, los factores día de control y rebaño son los que explican mayor porcentaje de varianza. El resto, aunque muestran una contribución significativa, lo hacen explicando un porcentaje de varianza mucho mas bajo.

En ganado vacuno Kelsey *et al.* (2003) estudian los efectos raza, n° de parto y fase de lactación, encontrando que los factores con mayor efecto son la raza y la fase de lactación y en menor grado el n° de parto. Es destacable que para los 4 caracteres de índice de desaturación Kelsey *et al.* (2003) encuentran que la fase de lactación es el factor más importante, siendo la raza y el n° de parto poco significativos.

A continuación estudiaremos cada uno de estos factores por separado.

A) Efecto del Día de control.

El efecto fecha o día de control fue el más importante de todos los estudiados, ya que el porcentaje de varianza que explica estuvo comprendido entre el 35 y el 70% para las 27 variables consideradas. La importancia de este factor es debida a que está asociado con las circunstancias puntuales del rebaño y el día del control, particularmente con la alimentación, el manejo y otros factores ambientales. Esto explica también la alta variabilidad en el contenido de los AG a lo largo del año dentro de cada rebaño. El porcentaje de varianza explicada por este factor fue especialmente alto (60,7% y 68,2%) para el CLA ($C_{18:2c9t11}$) y el ácido linolénico ($C_{18:3c}$) respectivamente (Tabla R.3.6), debido a la importante influencia que tienen sobre ambos AG las variaciones en la alimentación a lo largo del año. Para las variables de composición de leche, porcentaje de grasa y proteína y recuento de células somáticas en la raza ovina Churra, otros autores (El-Saied *et al.* 1998b y Othmane *et al.*, 2002b) encontraron también que el *Día de control* fue un factor de variación muy significativo. Este efecto fue incluido también en el modelo matemático utilizado por Soyeurt *et al.* (2006a) para el estudio de las diferencias en los perfiles de AG entre distintas razas vacunas.

Un estudio detallado de este factor es imposible, debido al elevado número de niveles y al desconocimiento de las circunstancias que concurren en cada nivel.

B) Efecto de la fase de lactación.

La influencia del tiempo transcurrido desde el parto, sobre la producción y la composición de la leche, ha sido demostrada por muchos autores (Barillet, 1985; Caja, 1994; Delacroix-Buchet *et al.*, 1994, Pelligrini, 1995; Othmane, 2002b, Fuertes *et al.*, 1998). La fase de la lactación, expresada en meses, constituye uno de los principales factores de variación de la cantidad y de las características físico-químicas de la leche. Su efecto resulta así muy significativo para todas las variables tanto de cantidad como de calidad de la leche.

En la Tabla R.3.7, se presenta el efecto de la fase de lactación sobre la composición en ácidos grasos en la leche de oveja. Como podemos observar, las variaciones entre los controles no son cuantitativamente muy importantes, aunque en determinados casos las diferencias son significativas. Aunque las tendencias a aumentar o disminuir a lo largo de la lactación no son muy claras, en determinados casos pueden observarse tendencias generales. Entre los AG mayoritarios, podemos observar que el cáprico (C_{10:0}) y el esteárico (C_{18:0}) tienden a disminuir su proporción a medida que avanza la lactación, mientras que el mirístico (C_{14:0}) tiende a incrementarla y tanto el palmítico (C_{16:0}) como el oleico (C_{18:1c9}) no muestran una tendencia clara. No hemos observado que, en nuestro caso, se confirmen las observaciones de Syrstad *et al.* (1981) y Piva *et al.* (1993); en ningún caso hemos observado que en la mitad de la lactación, se observen los valores máximos para los AG de cadena corta y mínimos para los de cadena larga. Respecto a las agrupaciones, los AGS tienden a disminuir su concentración a lo largo de la lactación, mientras que, tanto los AGMI como los AGPI, muestran la tendencia contraria.

En nuestro estudio, en cuanto a la composición de los ácidos grasos de cadena corta (C₄-C₁₀) se observa una tendencia creciente del primer al segundo mes de lactación, al igual que lo señalado por Velasco *et al.* (2001), indicando una mayor capacidad de síntesis por parte del epitelio glandular con el progreso de la lactación (Schmidt, 1971). Este aumento de los ácidos grasos C_{6:0}, C_{8:0} y C_{10:0} durante los primeros días de la lactación, ha sido señalado por Noble *et al.* (1970) hacia el tercer día.

Tabla R.3.7. Medias mínimo cuadráticas de los ácidos grasos de leche ovina, según la fase de lactación y Test de significación para la diferencia entre medias.

Variable	Mes (n° de muestras)						Error estándar	Evolución	Sig.
	1° (455)	2° (1005)	3° (1177)	4° (1006)	5° (500)	6° (166)			
C _{4:0}	2,86 ^{ab}	2,87 ^a	2,82 ^b	2,82 ^b	2,81 ^{ab}	2,79 ^{ab}	0,02		NS
C _{6:0}	2,50 ^a	2,48 ^a	2,43 ^b	2,38 ^c	2,39 ^c	2,39 ^c	0,01	↓	*
C _{8:0}	3,51 ^{ab}	3,54 ^a	3,49 ^{ab}	3,43 ^b	3,43 ^b	3,46 ^b	0,02	↓	*
C _{10:0}	8,73 ^b	8,88 ^a	8,87 ^a	8,65 ^{ab}	6,63 ^{bc}	6,54 ^c	0,04	↓	***
C _{12:0}	5,42 ^b	5,53 ^a	5,56 ^a	5,52 ^a	5,54 ^a	5,49 ^b	0,04		NS
C _{14:0}	10,12 ^c	10,25 ^b	10,34 ^a	10,34 ^a	10,36 ^a	10,33 ^a	0,05	↑	***
C _{14:1}	0,71 ^b	0,72 ^b	0,75 ^a	0,76 ^a	0,76 ^a	0,76 ^a	0,01	↑	*
C _{16:0}	22,25 ^a	22,24 ^a	22,09 ^{ab}	21,93 ^b	21,74 ^b	22,03 ^{ab}	0,09		NS
C _{16:1}	1,54 ^c	1,56 ^c	1,61 ^{ab}	1,66 ^a	1,63 ^{ab}	1,63 ^{ab}	0,01	↑	***
C _{18:0}	11,00 ^a	10,69 ^b	10,51 ^c	10,47 ^c	10,41 ^c	10,47 ^c	0,07	↓	***
C _{18:1t11}	2,50 ^a	2,45 ^{bc}	2,45 ^{bc}	2,47 ^{bc}	2,49 ^{ab}	2,44 ^c	0,01		**
C _{18:1e9}	15,06 ^a	14,87 ^b	14,92 ^b	15,13 ^{ab}	15,24 ^a	15,15 ^{ab}	0,07		*
C _{18:2c}	3,52 ^a	3,50 ^a	3,49 ^a	3,51 ^a	3,52 ^a	3,50 ^a	0,02		NS
C _{18:3c}	1,13 ^c	1,14 ^c	1,19 ^b	1,22 ^{ab}	1,24 ^{ab}	1,24 ^a	0,01	↑	**
C _{18:2c9t11}	0,78 ^d	0,81 ^{cd}	0,82 ^c	0,87 ^b	0,89 ^{ab}	0,92 ^a	0,01	↑	***
AGRUPACIONES e INDICES									
AGS	72,07 ^{ab}	72,27 ^a	72,02 ^b	71,57 ^c	71,39 ^c	71,57 ^c	0,10	↓	*
Ags-cc	17,60 ^b	17,78 ^a	17,61 ^b	17,29 ^c	17,27 ^c	17,19 ^c	0,08	↓	**
Ags-cm	17,65 ^c	17,93 ^b	18,11 ^a	18,11 ^a	18,15 ^a	18,07 ^a	0,08	↑	***
Ags-cl	36,81 ^a	36,57 ^b	36,31 ^c	36,17 ^c	35,97 ^c	36,31 ^c	0,10	↓	***
AGMI	21,56 ^{bc}	21,33 ^{cd}	21,50 ^c	21,84 ^{ab}	21,95 ^a	21,79 ^{ab}	0,09	↑	**
AGPI	6,35 ^c	6,38 ^c	6,47 ^b	6,58 ^a	6,65 ^a	6,63 ^a	0,04	↑	**
Ins./Sat.	39,03 ^{bc}	38,61 ^c	39,16 ^b	40,03 ^a	40,39 ^a	39,96 ^a	0,21	↑	**
ω6/ω3	4,25 ^a	4,17 ^a	4,03 ^b	4,03 ^b	3,87 ^c	3,91 ^{bc}	0,06	↓	**
C _{14:1} /C _{14:0}	7,15 ^b	7,13 ^b	7,37 ^b	7,56 ^a	7,62 ^a	7,42 ^{ab}	0,17	↑	NS
C _{16:1} /C _{16:0}	7,02 ^c	7,11 ^c	7,42 ^b	7,70 ^a	7,63 ^a	7,49 ^{ab}	0,08	↑	*
C _{18:1} /C _{18:0}	139,17 ^c	142,70 ^d	146,24 ^c	149,98 ^b	154,84 ^a	150,81 ^b	1,25	↑	***
CLA/C _{18:1t11}	30,91 ^d	32,59 ^c	33,32 ^c	35,06 ^b	35,25 ^b	37,14 ^a	0,52	↑	***

Nivel de significación: *** (P<0,001); ** (P<0,01), * (P<0,05); NS (no significativo).

Medias con distinta letra en la misma fila difieren significativamente (P < 0,05).

Craninx *et al.* (2008) utilizan la función gamma de Wood para el estudio de este factor y encuentran variaciones importantes en la fase primera de la curva de lactación. Sin embargo, en ganado ovino no es posible analizar este efecto, debido a que el cordero está en lactación hasta el destete a los 20-35 d. Debido a estas condiciones tampoco creemos que sea muy apropiado el ajuste de la función gamma de Wood en rebaños comerciales de ganado ovino de leche.

Durante el primer mes de la lactación, las hembras pueden sufrir un estrés nutricional cuando la ingestión de alimentos no satisface la alta demanda de nutrientes de la producción láctea, lo que viene motivado por que la capacidad de ingestión de las ovejas no alcanza su máximo hasta la cuarta-sexta semana postparto (Bocquier *et al.*, 1987a y 1987b). La consecuencia de esta limitación en la ingestión es el balance energético negativo en que se encuentran generalmente las ovejas en esta fase de lactación, lo que exige la utilización de las reservas corporales para satisfacer las demandas de la producción. Asimismo, de manera fisiológica, en el final de la gestación y principio de la lactación, existe un predominio del catabolismo lipídico, lo que se acompaña de una rápida pérdida de los lípidos almacenados durante la gestación, en las primeras semanas de la lactación, y no es hasta el destete o después del pico de lactación, cuando el anabolismo lipídico se convierte en la fase predominante (McNamara, 1995). Así, parece razonable sugerir que, durante la parte temprana de la lactación, el depósito adiposo asume un rol importante en donar ácidos grasos a la glándula mamaria para la síntesis de la grasa de la leche. Al principio de la lactación la mayor movilización de la reserva grasa corporal del animal, cuando este se encuentra en un balance energético negativo (Requena *et al.*, 1997), aumenta el contenido de los ácidos grasos de cadena larga en la leche e inhibe la síntesis *de novo* de los ácidos grasos de cadena corta por el tejido mamario (Palmquist *et al.*, 1993).

A partir del primer mes de lactación (pico de lactación), es cuando se produce un aumento de los de cadena larga. Esta variación se manifiesta principalmente en la disminución de los ácidos grasos C_{6:0}, C_{8:0} y C_{10:0} en los de cadena corta, en C_{12:0}, C_{14:0} y C_{16:0} en los de cadena media, acompañado esto de un aumento del C_{18:1} y C_{18:2} en los de cadena larga.

Igualmente, por insaturación de la cadena carbonada, los ácidos grasos saturados (AGS) presentaron el mínimo en el quinto mes de lactación (71,39%), alcanzando los monoinsaturados (AGMI) y los poliinsaturados (AGPI) su máximo (21,95% y 6,65%, respectivamente). Proporciones inferiores han sido encontradas por Velasco *et al.* (2001), en la leche de raza Talaverana. La baja proporción de ácidos grasos esenciales ($C_{18:2c}$ y $C_{18:3c}$) derivados principalmente de la dieta, es debida su hidrogenación en el rumen para la formación de ácido oleico ($C_{18:1}$) (Luquet *et al.*, 1991). Asimismo, otros autores también encuentran una baja proporción de éstos ácidos en otras razas ovinas (Chiofalo *et al.*, 2004).

En cuanto al CLA, a lo largo de la lactación se produjo un incremento progresivo ($P < 0.001$) del 18%: desde 0.78% (primer mes) hasta 0.92% (sexto mes de lactación) (Tabla R.3.7) a pesar de que el porcentaje de varianza explicada por la fase de lactación fue relativamente bajo (1,5%). Para el índice $CLA/C_{18:1+11}$ también se produjo un incremento progresivo ($P < 0.001$) a lo largo de la lactación del 22%: desde 30,9 (primer mes) hasta 37,1 (en el 6 mes de lactación) y un incremento similar en el resto de los índices de desaturación. Estos resultados son totalmente concordantes con los obtenidos por Kelsey *et al.* (2003), Kay *et al.* (2005) y Garnsworthy *et al.* (2006) en ganado vacuno.

Recapitulando sobre el efecto de la fase de lactación, concluimos que las diferencias encontradas a lo largo de la lactación, aunque no son cuantitativamente importantes, son significativas sobre el perfil de los ácidos grasos a lo largo de la lactación, se incrementan los saturados de cadena corta e insaturados. Esto obliga a considerar este efecto como factor de variación en los análisis de estos caracteres. Se aconseja también realizar al menos dos análisis en diferentes momentos de la lactación, para obtener un fenotipo más adecuado y representativo de la lactación.

C) Efecto de la edad de la oveja.

La edad de la oveja y el número de parto o de lactación, son dos factores muy relacionados entre sí, y que ejercen una gran influencia sobre la calidad de la leche, como indica Othmane (2000). Estudios realizados en la misma raza han demostrado que el contenido en grasa permanece constante para las ovejas más jóvenes, para aumentar

de forma significativa más allá de los 3 años de edad (Othmane, 2000). En la Tabla R.3.8, se resumen los resultados correspondientes al efecto de la edad de la oveja, sobre la composición en ácidos grasos.

Tabla R.3.8. Comparación de medias cuadráticas según el efecto edad de la oveja.

Variable	Edad en años					Error estándar	Evolución	Sig.
	1 (571)	2 (1702)	3 (1146)	4 (719)	5 (441)			
C _{4:0}	2,80 ^a	2,81 ^a	2,82 ^a	2,82 ^a	2,83 ^a	0,02		NS
C _{6:0}	2,39 ^b	2,42 ^a	2,42 ^a	2,42 ^a	2,43 ^a	0,01		NS
C _{8:0}	3,40 ^c	3,51 ^a	3,48 ^{ab}	3,46 ^b	3,47 ^b	0,02	↑	***
C _{10:0}	8,43 ^c	8,82 ^a	8,78 ^{ab}	8,80 ^{ab}	8,71 ^b	0,04	↑	***
C _{12:0}	5,28 ^b	5,57 ^a	5,55 ^a	5,56 ^a	5,47 ^a	0,03	↑	***
C _{14:0}	9,96 ^c	10,38 ^b	10,34 ^b	10,39 ^b	10,57 ^a	0,03	↑	***
C _{14:1}	0,75 ^a	0,75 ^a	0,74 ^a	0,74 ^a	0,73 ^a	0,01		NS
C _{16:0}	22,13 ^{ab}	22,05 ^b	22,06 ^b	22,22 ^{ab}	22,36 ^a	0,07		*
C _{16:1}	1,62 ^a	1,59 ^b	1,58 ^b	1,59 ^{ab}	1,60 ^{ab}	0,01		NS
C _{18:0}	10,81 ^a	10,48 ^b	10,49 ^b	10,58 ^b	10,56 ^b	0,06	↓	**
C _{18:1tt1}	2,56 ^a	2,46 ^b	2,47 ^b	2,45 ^b	2,44 ^b	0,01	↓	***
C _{18:1c9}	15,42 ^a	14,95 ^b	15,03 ^b	14,96 ^b	14,91 ^b	0,05	↓	**
C _{18:2c}	3,60 ^a	3,52 ^b	3,50 ^b	3,45 ^c	3,38 ^d	0,01	↓	***
C _{18:3c}	1,20 ^a	1,19 ^a	1,20 ^a	1,16 ^b	1,16 ^b	0,01	↓	NS
C _{18:2c9t11(CLA)}	0,86 ^a	0,86 ^a	0,85 ^{ab}	0,82 ^b	0,82 ^b	0,01	↓	**
AGRUPACIONES e INDICES								
AGS	71,17 ^c	71,94 ^b	71,88 ^b	72,12 ^a	72,23 ^a	0,08	↑	***
Ags-cc	17,04 ^b	17,56 ^a	17,51 ^a	17,50 ^a	17,43 ^a	0,05	↑	***
Ags-cm	17,42 ^b	18,15 ^a	18,09 ^a	18,14 ^a	18,25 ^a	0,06	↑	***
Ags-cl	36,70 ^a	36,22 ^b	36,28 ^b	36,48 ^{ab}	36,55 ^a	0,07		***
AGMI	22,17 ^a	21,52 ^b	21,61 ^b	21,50 ^b	21,43 ^b	0,07	↓	***
AGPI	6,65 ^a	6,53 ^b	6,50 ^b	6,36 ^c	6,32 ^c	0,02	↓	***
Ins./Sat.	40,81 ^a	39,27 ^b	39,41 ^b	38,95 ^c	38,71 ^c	0,18	↓	***
ω6/ω3	4,13 ^a	4,05 ^b	4,02 ^b	4,08 ^{ab}	3,99 ^b	0,04	↓	NS
C _{14:1} /C _{14:0}	7,69 ^a	7,42 ^b	7,37 ^b	7,24 ^{bc}	7,01 ^c	0,12	↓	NS
C _{16:1} /C _{16:0}	7,41 ^a	7,33 ^a	7,30 ^a	7,26 ^a	7,25 ^a	0,05	↓	NS
C _{18:1} /C _{18:0}	147,43 ^a	147,4 ^a	148,19 ^a	146,21 ^a	146,05 ^a	0,98	↓	NS
CLA/C _{18:1tt1}	33,35 ^b	34,62 ^a	34,05 ^a	33,12 ^b	33,69 ^{ab}	0,35		**

Nivel de significación: *** (P<0,001); ** (P<0,01), * (P<0,05); NS (no significativo).

Medias con distinta letra en la misma fila difieren significativamente (P < 0,05).

Con respecto al total de ácidos grasos cuantificados, el efecto de la edad al parto se ha mostrado muy significativo para casi todas las variables, exceptuando los ácidos

grasos butírico (C_{4:0}), caproico (C_{6:0}), miristoleico (C_{14:1}), palmitoléico (C_{16:1}) y linoléico (C_{18:3c}). Se verifica que los ácidos grasos de cadenas corta y media aumentan sensiblemente su concentración con la edad.

Con respecto a las agrupaciones se observa una tendencia creciente de los AGS, con el aumento de la edad, debido al aumento de AGS-cc y AGS-cm. Las ovejas más viejas, producen mayor cantidad de ácidos grasos saturados, mientras que disminuye la proporción tanto de AGMI como de AGPI y por supuesto el índice I/S. En nuestro caso, el CLA se comporta como el resto de los AGI, reduciendo ligeramente su representación porcentual a medida que aumenta la edad de la oveja. Este es un efecto contrario al encontrado por O'Shea *et al.*, (1998) quienes indican que el isómero C_{18:29c11t} del CLA es más abundante a edades avanzadas.

Con relación a este factor edad de la oveja no podemos ser muy concluyentes, pues nuestros resultados nos dan efectos significativos pero con magnitudes muy pequeñas y por otra parte en la bibliografía relativa al ganado vacuno encontramos escasa o nula influencia de este efecto en la mayoría de los ácidos grasos y sobre todo en los índices de desaturación, Craninx *et al.* (2008) y Kelsey *et al.* (2003).

D) Efecto de la estación del año.

Los valores promedios de las variaciones estacionales sobre el contenido en ácido grasos de la leche de oveja, se presentan en la Tabla R.3.9. Se puede observar que en todos los casos las diferencias resultan altamente significativas, sin excepciones. Se puede verificar que los ácidos grasos de cadena corta (C_{4:0} a C_{10:0}) presentan diferencias estadísticamente significativas entre estaciones, siendo superiores sus estimaciones en los meses correspondientes a las estaciones de invierno y verano. Cabe destacar la tendencia creciente desde primavera hasta otoño en el contenido del ácido oleico (10,81%). En los ácidos grasos de cadena entre C_{12:0} y C_{16:0} se observaron igualmente diferencias altamente significativas (P<0,001) para todas las estaciones del año, observándose los valores de máxima concentración en otoño (10,82%). Los valores promedios de los ácidos grasos de cadena larga (C_{18:0} a C_{20:0}) fueron significativamente superiores (P<0,001) en primavera y verano.

Tabla R.3.9 - Comparación de medias mínimo cuadráticas según el efecto estación del año sobre el contenido en ácidos grasos en la leche ovina.

Variable	Estación				Error estándar	Sig.
	1-3 (1841)	4-6 (1885)	9-10 (592)	11-12 (261)		
C _{4:0}	2,90 ^a	2,66 ^b	2,90 ^a	2,53 ^c	0,02	***
C _{6:0}	2,43 ^a	2,32 ^b	2,46 ^a	2,27 ^c	0,02	***
C _{8:0}	3,46 ^a	3,37 ^b	3,48 ^a	3,40 ^b	0,02	***
C _{10:0}	8,77 ^a	8,57 ^b	8,44 ^c	9,20 ^d	0,05	***
C _{12:0}	5,68 ^a	5,22 ^b	5,16 ^b	5,78 ^a	0,04	***
C _{14:0}	10,45 ^b	10,12 ^c	9,89 ^d	10,82 ^a	0,05	***
C _{14:1}	0,71 ^c	0,76 ^b	0,79 ^a	0,76 ^{ab}	0,01	***
C _{16:0}	22,94 ^a	21,78 ^b	21,33 ^c	21,10 ^c	0,09	***
C _{16:1}	1,55 ^c	1,65 ^b	1,58 ^c	1,82 ^a	0,01	***
C _{18:0}	10,49 ^b	10,81 ^a	10,64 ^{ab}	9,71 ^c	0,08	***
C _{18:1t11}	2,43 ^c	2,59 ^a	2,48 ^b	2,52 ^b	0,01	***
C _{18:1e9}	15,19 ^a	14,43 ^c	14,86 ^b	15,40 ^a	0,09	***
C _{18:2c}	3,38 ^c	3,44 ^b	3,69 ^a	3,35 ^c	0,02	***
C _{18:3c}	1,08 ^c	1,28 ^b	1,37 ^a	0,83 ^d	0,02	***
C _{18:2e9t11} (CLA)	0,68 ^c	1,02 ^a	0,94 ^b	0,96 ^b	0,02	***
AGRUPACIONES						
AGS	72,43 ^a	70,89 ^c	71,10 ^{bc}	71,44 ^b	0,12	***
Ags-cc	17,57 ^a	16,93 ^c	17,29 ^b	17,41 ^{ab}	0,09	***
Ags-cm	18,19 ^b	17,54 ^c	17,36 ^d	18,77 ^a	0,09	***
Ags-cl	36,66 ^a	36,41 ^b	36,44 ^{ab}	35,25 ^c	0,10	***
AGMI	21,60 ^b	22,27 ^a	21,69 ^b	22,27 ^a	0,10	***
AGPI	5,95 ^d	6,81 ^b	7,19 ^a	6,28 ^c	0,05	***
Ins./Sat.	38,42 ^c	41,40 ^a	40,88 ^{ab}	40,45 ^b	0,25	***
ω6/ω3	4,48 ^b	3,79 ^c	3,44 ^d	5,28 ^a	0,08	***
C _{14:1} /C _{14:0}	6,94 ^c	7,72 ^b	8,23 ^a	7,24 ^c	0,15	***
C _{16:1} /C _{16:0}	6,86 ^c	7,66 ^b	7,50 ^b	8,76 ^a	0,08	***
C _{18:1} /C _{18:0}	149,73 ^b	148,78 ^b	143,85 ^c	160,92 ^a	1,13	***
CLA/C _{18:1t11}	28,38 ^b	38,69 ^a	38,17 ^a	37,90 ^a	0,52	***

Nivel de significación: *** (P<0,001); ** (P<0,01), * (P<0,05); NS (no significativo).

Medias con distinta letra en la misma fila difieren significativamente (P < 0,05).

El ácido linoleico conjugado (C_{18:2,9c11t}- CLA), presentó una concentración significativamente superior (P<0,001) en primavera, verano y otoño con valores de 1,02%, y 0,94%, y 0,96% respectivamente, frente al invierno (0,68%). Cabe destacar que, las diferencias encontradas a nivel estacional, pueden estar relacionadas con variaciones en la dieta. Kelly *et al.* (1998b) han demostrado que vacas sometidas a una

dieta basada en pastos frente a un grupo control, obtuvieron unas producciones medias del contenido en CLA de $11,2 \pm 3,4$ g/d para el grupo en pasto frente a $6,8 \pm 1,9$ g/d para el grupo control.

Igualmente, Jiang *et al.* (1996), encontraron una variación de 0,25 a 1,77% de CLA en la grasa láctea en función de la dieta y sugirieron que el contenido de este ácido en la leche puede ser incrementado al modificar la dieta del ganado. Al estudiar diferentes tipos de dietas, se observaron concentraciones de ácido linoleico conjugado en la grasa láctea, que fluctuaron entre 0,89 a 2,21%, cuando la alimentación fue en base a pradera. Concluyeron así que este importante componente puede incrementarse mediante prácticas nutricionales y de manejo.

En cuanto a los grupos lipídicos, constatamos que los ácidos grasos saturados (AGS), sufren un ligero aumento en sus concentraciones en las épocas de primavera e invierno, alcanzando el máximo (72,43%), en primavera y su mínimo al inicio de verano (70,89%). Los monoinsaturados (AGMI) siguen una tendencia no tan clara, revelando valores superiores en los meses de verano y otoño, con valores alrededor de 22,27%. En el caso de los poliinsaturados (AGPI), se verifica que alcanza el máximo en los meses de otoño (7,19%), siendo la clase que mayores oscilaciones sufre a lo largo del año. Así, se concluye que la estación del año es quizá el factor que mayor influencia tiene sobre el contenido en ácidos grasos en la leche ovina.

Con respecto a los índices de interés, igualmente todos están sometidos a este efecto, estadísticamente significativo, la estación del año. Así, se puede observar que las estaciones de verano e invierno, inducen un aumento del ratio ($C_{14:1}/C_{14:0}$) y de la relación CLA/ $C_{18:1t11}$. El índice representado por los ácidos palmítico y oleico, presentan su máximo en los meses de invierno (Enero-Marzo y Noviembre-Diciembre).

La conclusión con respecto a la época del año es que pudiera estar asociado a la alimentación que las ovejas reciben en cada estación, pues hemos de considerar que las ovejas Churras están permanentemente estabuladas en invierno, con una alimentación en base a forrajes conservados y cereales. En este sentido es frecuente la alimentación con heno y con cebada, maíz y soja. En contraposición, durante primavera y verano las ovejas salen a pastar, complementando la dieta anterior con pastos, forrajes frescos y rastrojeras de cereal. El otoño es una estación de transición desde el punto de vista de la alimentación y del manejo de las ovejas. Así, en otoño el contenido de los AG y de las

agrupaciones presentaron valores promedio entre los que se observaron en invierno y primavera-verano. Los contenidos del CLA ($C_{18:2c9t11}$) y de linolenico ($C_{18:3c}$) se incrementaron el 44% y el 30%, respectivamente, desde el invierno a la primavera-verano, lo cual indica la importante influencia de la alimentación sobre el contenido de ambos.

E) Efecto del rebaño.

El efecto del rebaño, aunque no tiene interpretación fisiológica, pues desconocemos la mayoría de los factores que inciden en cada rebaño, como la alimentación, manejo, sanidad, etc., tiene interés para reflejar la gran variabilidad de ambientes y su efecto sobre la composición de ácidos grasos dentro de la misma raza.

El factor rebaño supuso como media un 13,93 % de la varianza explicada, oscilando este porcentaje entre 0,00 para el $C_{4:0}$ y 30,46 % para el ($C_{18:0}$); los caracteres más influenciados fueron $C_{18:0}$, $C_{18:2}$, $C_{12:0}$ y $C_{14:0}$ y en las agrupaciones AGS-cm y AGMI.

La influencia del rebaño también se manifiesta, según nuestro modelo, en el factor día de control, pues este factor está subordinado al rebaño y recoge los efectos puntuales del rebaño sobre las variables dependientes el día en el que efectuó la toma de muestra. El efecto día de control, ya comentado anteriormente, es el más importante con porcentaje de varianza medio de 44,56 %, oscilando dicho efecto entre un 21,62 % para el $C_{14:1}$ y 70,48 % para los AGPI. Somos conscientes de que sobre este factor, *día de control*, además de los efectos temporales del rebaño, también influyen otros efectos como, manipulación de las muestras de leche, ya que todas las muestras tomadas cada día de control en un mismo rebaño se manejan conjuntamente: traslado al laboratorio, extracción de la grasa, etc., aunque desconocemos el grado de influencia de dichos efectos.

Los resultados de los valores medios de cada rebaño se presentan en la Tabla R.3.10, con la finalidad de mostrar la gran variabilidad entre rebaños para los caracteres de interés.

Tabla R.3.10. Medias mínimo cuadráticas de los ácidos grasos de leche ovina, según el rebaño (n= 4579).

Rebaño	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Nº muestras	920	527	185	375	225	567	192	225	370	154	294	234	117	194
C_{4:0}	2,73	2,87	2,79	2,69	2,92	2,82	2,71	2,92	2,86	2,84	2,81	2,72	2,88	2,83
C_{6:0}	2,29	2,40	2,38	2,30	2,50	2,44	2,35	2,46	2,48	2,53	2,37	2,38	2,44	2,41
C_{8:0}	3,34	3,46	3,32	3,30	3,41	3,50	3,54	3,66	3,43	3,58	3,40	3,57	3,52	3,53
C_{10:0}	7,97	8,41	8,51	7,86	8,65	8,80	9,80	9,67	8,15	8,82	9,14	10,07	8,42	8,88
C_{12:0}	5,07	5,13	5,07	4,86	5,23	5,41	6,66	5,97	4,88	5,85	5,67	6,87	4,99	5,23
C_{14:0}	9,98	9,98	9,79	9,30	10,35	10,22	11,68	10,70	9,38	10,33	10,63	12,14	9,91	10,20
C_{14:1}	0,81	0,70	0,77	0,70	0,68	0,78	0,67	0,69	0,79	0,58	0,77	0,90	0,76	0,78
C_{16:0}	21,77	22,36	21,06	21,43	21,98	22,19	22,39	23,28	20,78	22,75	22,08	22,77	22,34	23,04
C_{16:1}	1,74	1,79	1,63	1,51	1,42	1,67	1,72	1,33	1,46	1,40	1,61	1,96	1,60	1,53
C_{18:0}	10,02	9,90	10,64	13,01	11,46	9,84	8,66	10,93	12,11	10,67	11,14	7,66	11,40	10,26
C_{18:1t11}	2,73	2,64	2,65	2,61	2,52	2,51	2,23	2,18	2,63	2,43	2,35	2,00	2,70	2,38
C_{18:1e9}	16,16	15,57	16,45	15,91	15,17	15,88	14,11	13,46	16,15	14,93	14,44	12,81	15,15	14,13
C_{18:2c}	3,42	3,19	3,29	4,42	3,60	3,22	3,57	3,52	3,46	3,94	3,60	3,19	3,08	3,10
C_{18:3c}	1,44	1,45	1,36	1,02	1,09	1,00	0,86	0,97	1,31	1,03	0,99	1,19	1,32	1,46
C_{18:2c9t11}	0,92	1,13	1,04	0,84	0,74	0,97	0,76	0,57	1,00	0,62	0,60	0,69	0,83	1,08
Agrupaciones e índices														
AGS	69,68	70,36	69,76	70,33	71,98	71,28	73,48	74,93	70,38	72,47	72,98	74,87	71,48	72,80
Ags-cc	16,34	17,15	17,01	16,16	17,50	17,57	18,42	18,73	16,92	17,78	17,74	18,75	17,28	17,66
Ags-cm	17,41	17,16	17,03	16,14	17,57	17,86	20,55	18,75	16,54	18,09	18,53	21,68	16,92	17,76
Ags-cl	35,92	36,04	35,71	38,02	36,90	35,84	34,51	37,44	36,91	36,59	36,71	34,42	37,26	37,37
AGMI	23,50	22,64	23,47	22,49	21,53	22,70	20,38	19,17	22,88	21,01	20,82	19,24	22,21	20,54
AGPI	6,80	6,98	6,75	7,16	6,48	6,01	6,12	5,89	6,72	6,50	6,18	5,88	6,29	6,65
Ins./Sat.	0,43	0,42	0,43	0,42	0,39	0,40	0,36	0,35	0,42	0,38	0,37	0,33	0,40	0,37
ω6/ω3	3,37	2,82	3,72	5,28	4,56	4,93	5,38	4,36	3,68	4,56	5,13	3,28	3,13	2,71
C_{14:1}/C_{14:0}	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08
C_{16:1}/C_{16:0}	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07
C_{18:1}/C_{18:0}	1,64	1,63	1,59	1,23	1,35	1,64	1,66	1,25	1,36	1,44	1,31	1,70	1,34	1,39
CLA/C_{18:1t}	0,34	0,41	0,38	0,32	0,29	0,38	0,34	0,27	0,38	0,26	0,25	0,35	0,30	0,44

AGS: ácidos grasos saturados; AGS-cc: (C_{4:0} – C_{10:0}); AGS-cm: (C_{12:0} – C_{15:0}); AGS-cl (C_{16:0} – C_{24:0}); AGMI: ácidos grasos monoinsaturados, AGPI: ácidos grasos poliinsaturados.

A modo de ejemplo, los valores medios del $C_{18:0}$ oscilan entre 7,66% en el rebaño L y 13,01% en el rebaño D, o el CLA que oscila entre 0,57% en el rebaño H y 1,13% en el rebaño B. Con relación a las agrupaciones o índices, las diferencias presentan magnitudes similares, por ejemplo la relación $\omega 6/\omega 3$ oscila entre el 2,82% en el rebaño B y 5,28% en el rebaño D.

Aunque investigar las diferencias en el manejo, alimentación y sistema de producción que originan estos resultados sea muy interesante en la práctica, no es objeto de esta tesis doctoral, por lo que no vamos a entrar a su discusión. Es probable que sean objeto de investigación en trabajos posteriores. Además, actualmente no disponemos de la información necesaria para investigar estos aspectos. Sólo de forma empírica observamos cómo por ejemplo el rebaño B, con un perfil lipídico muy saludable (1,13 % de CLA y una relación $\omega 6/\omega 3$ de 2,82), utiliza abundantes praderas y heno de alfalfa de cosecha propia y no utiliza soja pero si guisantes o el rebaño K, en una situación contraria (0,60 % de CLA y una relación $\omega 6/\omega 3$ de 5,13), mantiene a sus ovejas permanentemente estabuladas, utiliza soja y maíz, es decir un pienso comercial propio para el ganado ovino en fase de lactación.

3.4. Repetibilidad y Heredabilidad.

A) Caracteres de composición y cantidad de leche.

Las estimaciones de las heredabilidades y repetibilidades con sus errores típicos correspondientes, así como el efecto del ambiente permanente, para las características físico-químicas (grasa y proteína) y producción de leche (Ledía y Le120), figuran en la Tabla R.3.11.

TablaV.3.11. Heredabilidades (h^2) y repetibilidades (r) de los componentes (grasa, proteína) y la producción de leche (Ledía y Le120).

	h^2	e.t.	a.p.	e.t.	r
Grasa	0,127	0,042	0,045	0,035	0,172
Proteína	0,218	0,056	0,055	0,047	0,273
Ledía	0,148	0,037	0,264	0,033	0,412
Le120	0,216	0,055	0,472	0,052	0,688

e.t.: error temporal; a.p.: efecto ambiental permanente; Ledía: Leche ordeñada en el día (litros); Le120: Producción de leche total estandarizada a 120 días (litros).

Las estimaciones de la heredabilidad para los contenidos graso y proteico son en general bajas, especialmente para el graso. Desde hace años, las estimaciones que nuestro grupo de investigación ha venido obteniendo, son bajas. Baro *et al.* (1994) estiman una h^2 de 0,13 para el porcentaje de proteína. Unos años mas tarde, El-Saied *et al.* (1999), en ovejas de la misma raza, obtuvieron una estimación de 0,17, también para el porcentaje de proteína. Othmane *et al.* (2002a y 2002b) obtienen una h^2 semejante a la nuestra en uno de sus estudios (0,23) y mayor en otro (0,31). En cuanto a la grasa, la mayor parte de las estimaciones de la h^2 muestran valores que no se diferenciaban estadísticamente de cero, por lo que no fueron publicados, por atribuir los resultados a problemas en la recogida de las muestras que podían afectar especialmente al porcentaje de grasa. Sin embargo, Othmane *et al.* (2002a y 2002b) se decidieron a publicar los resultados obtenidos para la h^2 del porcentaje de grasa (0,06 en uno de sus estudios y 0,10 en el otro), en ambos casos valores inferiores a los obtenidos en el presente estudio.

En cuanto a las repetibilidades estimadas para grasa y proteína, ambos valores (0,172 y 0,273, respectivamente) han resultado especialmente bajos, más que los estimados por Othmane *et al.* (2002a y 2002b) en la misma raza, con valores de 0,26 y

0,21 para la grasa y 0,35 y 0,38 para la proteína. El-Saied *et al.* (1999) también obtienen valores de 0,38 para la repetibilidad del contenido proteico de la leche.

Estas estimaciones contrastan con las obtenidas en trabajos realizados con ovejas de las razas Sarda (Casu *et al.*, 1975) y Lacaune (Barillet *et al.*, 1999), por encima de 0,5, tanto para el contenido graso como para el proteico. En trabajos realizados recientemente en el ganado ovino de raza Manchega, Ramón *et al.* (2006), han obtenido estimaciones de heredabilidad para grasa y proteína de 0,10 y 0,28, respectivamente.

En la especie bovina, las estimaciones de heredabilidad para estas dos variables parecen muy heterogéneas. Meyer *et al.* (1985) ha proporcionado heredabilidades de 0,25 para el contenido proteico y 0,38 para el contenido graso y, en un reciente estudio, Stoop *et al.* (2008) obtienen, en la raza bovina Holstein-Friesian, valores de 0,47 y 0,53, para la h^2 de los contenidos graso y proteico, respectivamente. Un reciente estudio publicado por Barillet (2007) ha permitido estimar heredabilidades del contenido graso y proteico del orden de 0,26 y 0,28, respectivamente, no excesivamente superiores a los obtenidos en nuestro estudio.

Parece patente que los valores obtenidos para las heredabilidades, tanto del contenido en grasa de la leche, como para el proteico, resultan heterogéneos y excesivamente bajos en nuestras razas autóctonas, especialmente en la raza Churra. Las bajas estimaciones para el contenido graso se han venido achacando, por una parte, a la recogida de las muestras (problemas de homogeneización) y, por otra, a los problemas derivados del apurado en el ordeño. Sin embargo, hemos realizado pruebas de análisis del contenido graso y proteico de la leche, con recogida cuidadosa de las muestras, y la variabilidad ambiental resulta muy alta y en consecuencia la h^2 más baja que las obtenidas en otras razas.

La hipótesis que actualmente mantenemos es que la excesiva variabilidad en el contenido en grasa de la leche puede ser debida, en parte, a la práctica no sistematizada del repaso manual durante el ordeño mecánico y, en parte, a la enorme variabilidad en los sistemas de manejo, especialmente en lo que concierne a la reproducción y a la alimentación.

En este sentido, De La Fuente *et al.* (1997) observaron que, en el ordeño mecánico, la repetibilidad de la materia grasa se reduce casi a la mitad (0,36) frente a su homóloga en el ordeño manual (0,68). La leche de repaso es, en efecto, mucho más rica

en materia grasa que la leche ordeñada por la máquina y la práctica o no de esta técnica puede generar grandes variaciones de un ordeño o otro.

En cuanto a la producción de leche, las heredabilidades estimadas fueron moderadas. La heredabilidad observada para la producción diaria de leche (Ledía) ($h^2 = 0,148$) presenta un valor semejante al obtenido en estudios anteriores realizados en la raza Churra (El-Saied *et al.*, 1998a; Othmane, 2000). Este valor es también similar a los resultados de Portolano *et al.* (2001) en la raza ovina Barbaresca siciliana (0,14 – 0,15) y Serrano *et al.* (2003) en la raza Manchega (0,18), pero inferior a los obtenidos por Baro *et al.* (1994) en la raza Churra (0,35), por Barillet *et al.* (1999) en la raza Lacaune (0,19 – 0,38) y por Legarra y Ugarte (2001), (0,20) en la raza Latxa. Estudios más recientes (Gutiérrez *et al.*, 2007), han aportado valores bastante inferiores (0,11), en la raza Assaf. La heredabilidad estimada en cuanto a la producción lechera estandarizada a 120 días (Le120) fue de $0,22 \pm 0,06$, un resultado similar a los citados por otros autores en oveja Churra (Othmane, 2000) ($h^2 = 0,22$); El-Saied *et al.* (1998a) (0,18) y Álvarez (2006) ($0,20 \pm 0,03$) y superior a estimaciones en otras razas como Assaf (Gutiérrez *et al.*, 2007) y Manchega (Ramón *et al.*, 2006), en las que el rango de heredabilidades se situó entre 0,11 y 0,18.

Respecto a la repetibilidad, es preciso señalar que la producción estandarizada a 120 días es más repetible que la producción de leche ordeñada en el día (0,69 y 0,41, respectivamente) y que nuestros resultados ofrecen valores superiores a los obtenidos por otros autores en la misma raza (El-Saied *et al.*, 1998b y 1999 y Othmane *et al.*, 2002a y 2002b), que no superan el valor de 0,5, así como en la raza Manchega ($r = 0,37$) (Ramón *et al.*, 2006).

Se concluye este apartado constatando que las heredabilidades y repetibilidades de los caracteres estudiados son ligeramente más bajas que las estimadas en otras razas ovinas, si bien este es un efecto detectado en anteriores estudios realizados en la raza Churra, motivado fundamentalmente por su sistema de producción muy heterogéneo.

B) Perfil de los ácidos grasos en la leche.

Las estimaciones de la heredabilidad y la repetibilidad y sus errores típicos correspondientes al perfil de ácidos grasos presentes en la leche, se resumen en la Tabla R.3.12. Se han eliminado una serie de AG que se encuentran en muy baja proporción y que, en consecuencia, ofrecen resultados con mayor error de estimación.

Tabla R.3.12. Heredabilidades (h^2) y repetibilidades (r) del contenido en ácidos grasos de la leche.

	h^2	e.t.	a.p.	e.t.	r
C _{4:0}	0,004	0,004	0,000	0,000	0,004
C _{6:0}	0,049	0,016	0,027	0,015	0,076
C _{8:0}	0,040	0,007	0,013	0,010	0,022
C _{10:0}	0,050	0,030	0,034	0,025	0,126
C _{12:0}	0,077	0,026	0,060	0,023	0,137
C _{14:0}	0,136	0,040	0,010	0,033	0,146
C _{14:1}	0,000	0,000	0,021	0,007	0,021
C _{16:0}	0,042	0,009	0,000	0,000	0,042
C _{16:1}	0,005	0,005	0,048	0,010	0,053
C _{18:0}	0,080	0,018	0,051	0,017	0,114
C _{18:1t11}	0,051	0,019	0,003	0,016	0,054
C _{18:1c9}	0,011	0,018	0,048	0,090	0,059
C _{18:2c}	0,191	0,043	0,001	0,034	0,192
C _{18:3c}	0,026	0,011	0,026	0,013	0,052
C _{18:2 c9t11 (CLA)}	0,014	0,005	0,034	0,009	0,048
AGRUPACIONES Y INDÍCES					
AGS	0,086	0,033	0,020	0,027	0,106
Ags-cc	0,071	0,023	0,033	0,021	0,104
Ags-cm	0,103	0,031	0,042	0,027	0,145
Ags-cl	0,089	0,023	0,010	0,019	0,099
AGMI	0,029	0,021	0,050	0,019	0,079
AGPI	0,132	0,030	0,032	0,025	0,164
Ins./Sat.	0,084	0,032	0,021	0,027	0,105
$\omega 6/\omega 3$	0,074	0,031	0,024	0,026	0,098
C _{14:1} /C _{14:0}	0,012	0,008	0,066	0,012	0,078
C _{16:1} /C _{16:0}	0,008	0,008	0,015	0,009	0,023
C _{18:1} /C _{18:0}	0,001	0,004	0,032	0,009	0,033
CLA/C _{18:1t11}	0,040	0,014	0,043	0,014	0,083

De manera general, se observa que las heredabilidades individuales de los ácidos grasos son muy bajas, oscilando entre 0,00 (C_{14:1}) y 0,19 (C_{18:2c}) con un valor promedio de 0,05 para la heredabilidad y 0,08 para la repetibilidad. Las heredabilidades para las agrupaciones son un poco mayores, oscilando entre 0,03 (AGMI) y 0,13 (AGPI), con un valor de 0,09 para los AGS.

Las estimaciones de las heredabilidades más altas, fueron registradas en los ácidos grasos mirístico ($C_{14:0}$), (0,14) y linoleico ($C_{18:2c}$) (0,19). Para el ácido linoleico conjugado ($C_{18:2c9t11}$) la estimación fue 0,01. La primera impresión es que el CLA es poco heredable. Sin embargo, las limitaciones en el control de los factores ambientales en los modelos clásicos para descomponer la varianza no nos permiten llegar a una conclusión clara. Lamentablemente no podemos contrastar nuestros resultados con los obtenidos en otras razas ovinas de aptitud láctea. Si se ha publicado estimaciones de la heredabilidad del CLA en carne ovina ($0,37 \pm 0,14$) (Greeff *et al.*, 2006). También para el resto de los AGs las estimaciones son muy superiores a las estimadas por nosotros en la leche de ovejas de raza Churra.

El escaso número de estudios relacionados con esta temática, en la especie ovina, dificulta la comparación de nuestros resultados. Por esto solo podemos discutirlos en relación con los de la especie bovina, (Soyeurt *et al.*, 2006; Stoop *et al.*, 2008; Soyeurt *et al.*, 2007, Bobe *et al.*, 2008, Mele *et al.*, 2009).

En ganado vacuno los resultados son bastante dispares, ver Tabla RB.6.4, pero siempre superiores a los obtenidos en la raza Churra, tanto para los AG individuales como para las agrupaciones. A modo de ejemplo, para el CLA las estimaciones obtenidas son 0,46 (Stoop *et al.*, 2008), 0,12 (Mele *et al.*, 2009) y 0,15 (Soyeurt *et al.*, 2007) muy superiores a la estimada en la raza Churra (0,01). Para el resto de los ácidos grasos la situación es similar. Así, el promedio de las heredabilidades, ver Tabla RB.6.4, es 0,43 (Stoop *et al.*, 2008), 0,08 (Bobe *et al.*, 2008), 0,11 (Mele *et al.*, 2009), y 0,18 (Soyeurt *et al.*, 2007). Solamente en dos ácidos grasos la estimación obtenida en nuestra población se puede considerar alta, (0,14) para el $C_{14:0}$ y (0,19) para el $C_{18:2}$, y en estos casos los resultados son comparables a los obtenidos en ganado vacuno. Desconocemos las causas de estos diferentes valores entre unos ácidos y otros, más cuando se cuantifica la concentración de cada uno de ellos respecto al total.

De las estimaciones publicadas en ganado vacuno, Stoop *et al.* (2008) obtiene heredabilidades altas y homogéneas en todos los ácidos grasos. Sin embargo, Bobe *et al.* (2008), como en nuestro caso, también obtienen valores muy dispares entre unos caracteres y otros por ejemplo 0,00 para el $C_{18:2}$ y el $C_{14:0}$ y 0,24 para el $C_{18:0}$.

Respecto a las agrupaciones e índices son pocos los autores que obtienen estimaciones para estos caracteres, pero también entre ellos observamos valores muy variables, por ejemplo la h^2 de los AGMI es 0,08 (Bobe *et al.*, 2008) y 0,24 (Soyeurt *et al.*, 2007), aunque siempre estos valores son superiores a los obtenidos por nosotros (0,03). Es muy probable que las diferentes poblaciones, mayoritariamente sobre raza Holstein, y circunstancias de cada uno de los estudios realizados en ganado vacuno, condicionen estas estimaciones. En cualquier caso, es evidente que estos caracteres de concentración de ácidos grasos en la leche, presentan menor heredabilidad que los caracteres de composición de la leche tanto en ganado vacuno como en ganado ovino.

La enorme diversidad de sistemas de explotación utilizados en la población de la que se han obtenido las muestras podría explicar nuestros resultados. El efecto de la gran diversidad de ambientes, dentro de la misma raza, con repercusión en la varianza genética, ya ha sido puesto de manifiesto en la raza Churra (El-Saied *et al.*, 2006) para los caracteres de producción láctea. En general, los ganaderos tienden a acelerar el proceso reproductivo, con el objetivo de obtener de cada oveja tres partos en dos años. El resultado final, para cada hembra, depende de muchos factores. Si la hembra no queda preñada durante la primera cubrición en su lote, debe unirse al siguiente grupo de cubrición. Cada ganadero decide con que periodicidad agrupa las parideras, por lo que el resultado final es que cada oveja presenta un ritmo reproductivo diferente y resulta imposible establecer grupos coherentes dentro de una misma ganadería, agravándose la situación cuando se utilizan datos de diferentes ganaderías. Algo semejante ocurre con las pautas de alimentación. Existen todas las posibilidades imaginables en cuanto a la relación entre pastoreo y estabulación, así como en cuanto a los hábitos de alimentación, aunque la mayor parte de la lactación las ovejas están estabuladas. Necesariamente tanta variabilidad ambiental debe influir sobre la variabilidad de un fenotipo tan especial como el perfil graso de la leche. Ya se ha descrito la gran diferencia de perfiles entre rebaños. En consecuencia, la varianza ambiental es elevada y gran parte de ella no queda recogida en los modelos clásicos para los caracteres lácteos. Es probable que la interacción genotipo-ambiente, no incluido en el modelo utilizado, sea un efecto importante para estos caracteres. Por ello obtenemos estimaciones de repetibilidad y heredabilidad bajas, que limitan el uso de la selección como método de mejora.

En consecuencia, en la situación actual no es aconsejable utilizar el perfil de AGs como objetivo de selección. Si las condiciones de manejo continúan como hasta ahora, para cambiarlo parece más adecuado utilizar técnicas no genéticas a corto plazo y profundizar en los estudios genómicos para diseñar nuevos métodos de selección.

3.5. Correlaciones genéticas.

A) Caracteres de composición y cantidad de leche.

Las relaciones entre los caracteres de composición de la leche, han sido estudiadas calculando las correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y las correlaciones ambientales (debajo de la diagonal), que se incluyen en la Tabla R.3.13.

Tabla R.3.13. Correlaciones genéticas - encima de la diagonal- y correlaciones ambientales – debajo de la diagonal- entre los caracteres de composición y cantidad de leche.

	Proteína	Grasa	Ledía
Proteína	----	0,63 ($\pm 0,31$)	-0,06 (-0,18)
Grasa	0,77 ($\pm 0,02$)	----	-0,20 (-0,17)
Ledía	-0,63 ($\pm 0,02$)	-0,60 ($\pm 0,02$)	----

Los coeficientes de correlación genética entre los caracteres usuales (leche, grasa y proteína) están dentro del rango de valores previamente estimados, tanto en ganado ovino, como en vacuno. La correlación genética entre la cantidad de leche y la de proteína obtenida por Othmane (2000) en la misma raza (-0,68), puede considerarse de rango similar. En otros estudios realizados en la misma raza por El-Saied (1998b) se han obtenido valores inferiores. Barillet *et al.* (1999) han encontrado, en ovejas Lacaune, correlaciones medias entre la leche y los contenidos graso y proteico del orden de -0,44 y -0,52, respectivamente. La correlación entre los contenidos graso y proteico (0,77) indica la fuerte asociación entre estas dos variables.

B) Perfil de los ácidos grasos en la leche.

Las correlaciones genéticas entre los distintos ácidos grasos de la leche se presentan en la Tabla R.3.14. Resalta la enorme variabilidad en los valores encontrados, desde prácticamente -1 hasta 1. Es necesario subrayar que la baja proporción de

varianza genético-aditiva, ya comentada en el apartado de heredabilidades, origina gran dificultad para estimar las correlaciones genéticas, no siendo posible obtener estimaciones para algunos de los ácidos grasos, los más afectados fueron los AGMI $C_{18:1c9}$ y $C_{18:1t11}$, con muy bajas heredabilidades, 0,01 y 0,05, respectivamente.

Las correlaciones entre el resto de los caracteres, donde si se obtuvieron estimaciones, presentan un elevado error que condiciona su interpretación, pues en el fondo subyace la escasa variabilidad genético-aditiva de estos caracteres en la población ovina de raza Churra y hace que pierdan protagonismo dichas correlaciones. En la práctica, poco se puede esperar de la correlación genética entre caracteres que son muy poco heredables.

Respecto a las correlaciones genéticas entre los AGs individualmente se manifiestan las asociaciones esperadas, ya descritas en el apartado de correlaciones fenotípicas y también las publicadas por Soyeurt *et al.* (2007) en ganado vacuno. Se manifiestan los dos grupos de asociación entre los AGs en base a su origen, los sintetizados en la glándula mamaria, AGS de cadena corta-media, y otro formado por los AGs que pasan de la sangre, C_{18} mayoritariamente insaturados.

Así, las correlaciones entre los AGs $C_{8:0}$, $C_{10:0}$, $C_{12:0}$, y $C_{14:0}$ son positivas y elevadas y mayoritariamente negativas frente al $C_{18:0}$. Aunque en casos concretos, como el $C_{18:2c9,11}$, las correlaciones con los tres primeros son altas y positivas (especialmente con el $C_{10:0}$) y como el $C_{18:2c}$ que, especialmente con el $C_{8:0}$, presenta una alta correlación de 0,72. La situación no es tan clara entre los C_{18} , con valores tanto positivos como negativos, pero nunca altos.

Esta misma asociación se encuentra entre las agrupaciones de AGs (ver tabla R3.15), es decir, r_g positiva entre AGS-cc y AGS-cm. Positiva también, aunque baja, entre AGMI y AGPI, pero negativa entre AGS-cc y AGS-cm, y AGMI y AGPI, como era de esperar. También es necesario señalar que, en el caso de las agrupaciones, las correlaciones genéticas obtenidas concuerdan bastante bien con los resultados esperados, ya comentados, acorde con el origen de los AGs. Sin embargo, las r_g entre los AGs individuales no siempre ofrecen estimaciones acorde a esta asociación esperada, como por ejemplo una r_g entre el $C_{18:3c}$ y $C_{18:1t11}$ de -0,29 o de -0,18 entre $C_{18:1c9}$ y $C_{18:2c911}$.

Tabla R.3.14 – Correlaciones genéticas (\pm EE) – encima de la diagonal y correlaciones ambientales (\pm EE) – debajo de la diagonal entre los ácidos grasos individuales de la leche de oveja de raza Churra.

	C_{8:0}	C_{10:0}	C_{12:0}	C_{14:0}	C_{16:0}	C_{16:1}	C_{18:0}	C_{18:1t11}	C_{18:1c9}	C_{18:2c}	C_{18:3c}	C_{18:2c9t11}
C_{8:0}	***	0,820 (0,13)	0,69 (0,25)	0,02 (0,42)	-0,77 (0,06)	0,73 (NA)	-0,58 (0,32)	0,06 (0,29)	0,34 (1,19)	0,72 (0,32)	-0,64 (NE)	0,64 (NE)
C_{10:0}	0,70 (0,26)	***	0,93 (0,08)	0,37 (0,34)	-0,91 (0,11)	0,11 (0,86)	-0,70 (0,22)	NE	NE	0,12 (0,53)	-0,01 (NE)	0,78 (NE)
C_{12:0}	0,36 (0,45)	0,87 (0,14)	***	0,67 (0,22)	-0,85 (0,14)	-0,31 (0,74)	-0,61 (0,25)	NE	NE	0,42 (0,35)	0,04 (NE)	0,26 (NE)
C_{14:0}	0,22 (0,54)	0,83 (0,36)	0,67 (0,32)	***	-0,23 (0,24)	-0,22 (0,76)	-0,51 (0,26)	NE	NE	-0,30 (0,32)	0,16 (NE)	-0,59 (NE)
C_{16:0}	-0,41 (0,17)	0,63 (0,06)	-0,25 (1,12)	0,08 (NE)	***	0,61 (0,15)	0,20 (0,29)	0,28 (0,27)	0,74 (0,03)	-0,55 (0,11)	-0,43 (0,02)	-0,66 (NE)
C_{16:1}	-0,72 (0,54)	-0,79 (0,53)	-0,01 (0,46)	-0,19 (0,52)	0,33 (0,42)	***	-0,79 (0,63)	0,01 (0,87)	0,75 (1,48)	0,12 (0,71)	-0,77 (NE)	-0,62 (NE)
C_{18:0}	-0,03 (0,88)	-0,27 (0,80)	-0,58 (0,64)	-0,47 (0,77)	-0,64 (0,06)	0,04 (0,87)	***	0,67 (0,17)	-0,11 (0,40)	-0,49 (0,31)	0,43 (NE)	NE
C_{18:1t11}	-0,88 (0,07)	NE	NE	NE	0,43 (0,23)	0,61 (NE)	-0,46 (0,12)	***	NE	0,23 (0,19)	-0,29 (NE)	0,19 (NE)
C_{18:1c9}	-0,88 (0,49)	NE	NE	NE	0,34 (0,59)	0,36 (0,40)	0,79 (0,05)	NE	***	0,17 (0,83)	0,52 (NE)	-0,18 (NE)
C_{18:2c}	-0,55 (0,46)	-0,70 (0,49)	-0,62 (0,50)	-0,57 (0,42)	0,33 (0,18)	-0,15 (0,41)	0,59 (0,83)	0,72 (0,12)	0,59 (0,33)	***	0,63 (NE)	0,89 (0,04)
C_{18:3c}	0,38 (0,41)	0,09 (0,31)	-0,02 (0,30)	-0,37 (0,36)	0,69 (0,03)	-0,06 (0,30)	-0,68 (1,13)	-0,62 (NE)	-0,64 (0,09)	0,76 (0,28)	***	0,74 (NE)
C_{18:2c9t11}	0,07 (0,46)	-0,45 (0,51)	-0,31 (0,44)	-0,18 (0,48)	0,63 (0,02)	0,60 (0,44)	NE	0,34 (NE)	0,38 (0,38)	0,55 (0,02)	0,42 (0,31)	***

NE, No estimado

Tabla R.3.15 - Correlaciones genéticas (\pm EE) encima de la diagonal y correlaciones ambientales (\pm EE) – debajo de la diagonal entre las agrupaciones y índices de interés en la leche de oveja de raza Churra.

	AGS--cc	AGS-cm	AGS-cl	AGMI	AGPI	Ins/Sat	$\omega 6/\omega 3$	$C_{16:1}/C_{16:0}$	$C_{18:1}/C_{18:0}$	$CLA/C_{18:1t11}$
AGS-cc	***	0,61 (0,35)	0,07 (0,42)	-0,72 (0,40)	-0,79 (0,27)	-0,99 (0,16)	-0,67 (0,87)	-0,47 (1,01)	-0,60 (0,46)	-0,08 (0,99)
AGS-cm	0,94 (0,25)	***	-0,72 (0,01)	-0,89 (0,56)	-0,12 (0,36)	-0,62 (0,39)	0,51 (0,25)	0,27 (0,74)	0,33 (0,34)	0,44 (1,26)
AGS-cl	-0,88 (0,01)	-0,92 (0,03)	***	0,47 (0,49)	-0,52 (0,20)	-0,09 (0,12)	-0,85 (0,23)	-0,90 (1,25)	-0,73 (0,05)	-0,85 (0,02)
AGMI	-0,91 (0,05)	-0,73 (0,24)	0,86 (0,02)	***	0,13 (0,65)	0,66 (0,56)	-0,28 (0,77)	-0,08 (1,43)	0,29 (0,64)	-0,79 (NE)
AGPI	-0,66 (0,18)	-0,78 (0,40)	0,70 (0,03)	0,30 (0,29)	***	0,78 (0,30)	0,79 (0,35)	0,48 (NE)	0,48 (0,32)	0,78 (0,69)
Ins./Sat	-0,99 (0,00)	-0,90 (0,25)	0,85 (0,27)	0,89 (0,06)	0,70 (0,17)	***	0,53 (NE)	0,55 (1,05)	0,62 (0,54)	0,10 (1,06)
$\omega 6/\omega 3$	-0,25 (0,28)	-0,86 (0,02)	0,92 (0,01)	0,82 (0,43)	-0,69 (0,38)	0,29 (0,28)	***	0,83 (0,00)	0,90 (0,53)	0,54 (0,62)
$C_{16:1}/C_{16:0}$	-0,24 (0,40)	0,13 (0,59)	0,58 (0,26)	0,39 (0,40)	-0,23 (0,48)	0,24 (0,40)	-0,53 (0,02)	***	0,90 (1,29)	0,53 (1,17)
$C_{18:1}/C_{18:0}$	-0,36 (0,63)	-0,40 (1,49)	0,11 (0,13)	0,54 (0,72)	-0,02 (0,74)	0,44 (0,64)	-0,76 (1,10)	-0,34 (1,29)	***	0,59 (0,50)
$CLA/C_{18:1t11}$	-0,32 (0,61)	-0,35 (0,03)	-0,46 (0,45)	0,17 (0,34)	0,47 (0,41)	0,33 (0,53)	-0,61 (0,01)	0,35 (0,85)	0,31 (0,01)	***

NE, No estimado

Se esperaría que entre estos ácidos grasos insaturados la r_g resultase positiva, de acuerdo con su origen, sin embargo las dificultades en la estimación de estos parámetros nos impiden observar la verdadera correlación entre estos ácidos grasos cuando se expresan individualmente, por la escasa variabilidad genético-aditiva que presentan.

Concluimos este apartado de correlaciones entre AGs afirmando que las r_g entre AGs de la leche en ganado ovino siguen la misma asociación que en ganado vacuno, es decir, están básicamente determinadas por el origen de los AGs en dos grupos, síntesis “de novo” en la glandula mamaria (ácidos grasos saturados de cadena corta-media) o que pasan de la sangre a la leche (C_{18} generalmente insaturados).

Las correlaciones genéticas entre algunos de los AG más interesantes y variables relacionadas con la producción o composición de la leche, se muestran en la Tabla R.3.16.

Tabla R.3.16. Correlaciones genéticas (\pm EE) entre los ácidos grasos y los caracteres de producción y composición de la leche.

	Ledía	Grasa	Proteína
C_{8:0}	-0,06 (0,29)	-0,58 (0,43)	-0,24 (0,32)
C_{10:0}	-0,17 (0,25)	-0,14 (0,22)	-0,01 (0,19)
C_{12:0}	-0,29 (0,24)	-0,28 (0,25)	-0,12(0,22)
C_{14:0}	0,22 (0,20)	0,13 (0,16)	0,20 (0,21)
C_{16:0}	0,28 (NE)	0,01 (NE)	0,00 (NE)
C_{18:0}	-0,01 (0,21)	0,36 (0,21)	0,31 (0,20)
C_{18:1t11}	-0,02 (0,28)	0,01 (0,35)	0,14 (0,28)
C_{18:1c9}	NE	NE	NE
C_{18:2c}	-0,01 (0,19)	-0,02 (NE)	0,00 (NE)
C_{18:3c}	NE	NE	NE
C_{18:2c9t11}	NE	NE	NE

NE, No estimado.

Como podemos observar, los valores absolutos son bajos, independientemente del signo de la correlación, y por lo tanto poco importantes. Además, se indican los casos en los que no ha sido posible obtener estimaciones para las r_g que afectan a AGMI y AGPI.

No podemos pues observar pautas claras que permitan una interpretación biológica coherente, ni por lo tanto sacar conclusiones claras al respecto. Aunque las r_g negativas entre los $C_{8:0}$, $C_{10:0}$, $C_{12:0}$, con los caracteres CP y CG, como se obtiene en ganado vacuno (Soyeurt *et al.*, 2007), nos hace pensar que pueda existir la misma asociación en ambas especies, es decir correlaciones genéticas del % G y % P positivas con los AGS y negativas con los AGMI y los AGPI.

CONCLUSIONES

Primera.

La distribución de los 36 ácidos grasos analizados en la leche de oveja de raza Churra presenta gran variabilidad fenotípica, tanto entre rebaños como entre ovejas dentro del mismo rebaño, dando lugar a coeficientes de variación muy elevados, si se comparan con otros caracteres asociados a la producción láctea. Sin embargo, la mayor parte de la varianza estimada no es de origen genético.

Segunda.

Técnicamente es posible utilizar muestras procedentes del control lechero oficial para analizar individualmente el perfil de ácidos grasos de la leche. Para obtener un fenotipo representativo en cada lactación, será necesario realizar al menos dos estimaciones a lo largo de la misma. El análisis mediante cromatografía de gases resulta costoso en tiempo y recursos, lo que condiciona su generalización en el marco del control lechero.

Tercera.

En la población de ovejas de raza Churra, los factores ambientales ligados al rebaño: Rebaño y Día de control, explican la mayor parte de la varianza fenotípica observada para la concentración porcentual de los ácidos grasos de la leche. Aunque los factores edad de la oveja y fase de lactación mostraron una influencia estadísticamente significativa, en términos de porcentaje de varianza explicada resultaron poco importantes. La alimentación, asociada a cada momento de la lactación, dentro de cada rebaño, parece ser el origen de la mayor parte de la varianza fenotípica.

Cuarta.

Nuestros resultados permiten confirmar las altas y positivas correlaciones fenotípicas existentes entre los ácidos grasos que se sintetizan en la ubre, así como entre los que pasan de la sangre a la leche y las negativas existentes entre ambos grupos. Este comportamiento parece general en todas las especies de rumiantes.

Quinta.

Aunque las repetibilidades temporales para la composición de los ácidos grasos, dentro de una lactación y en un sólo rebaño, son similares a otros caracteres de composición de la leche, cuando se estiman entre lactaciones y en toda la población de raza Churra, mediante un modelo genético, resultan ser más bajas. Los modelos genéticos que se utilizan para descomponer la varianza fenotípica, no permiten liberar los valores fenotípicos de los efectos ambientales, posiblemente debido a que estos interaccionan con los efectos genéticos.

Sexta.

Los valores obtenidos para los coeficientes de heredabilidad de la concentración en ácidos grasos de la leche ovina han sido muy bajos. No es aconsejable, en consecuencia, planificar un programa de mejora genética para estos caracteres siguiendo los métodos tradicionales. En la actualidad y desde el punto de vista genético, parece más adecuado plantear nuevas estrategias de mejora basadas en metodologías genómicas.

Septima.

Desde el punto de vista de la alimentación humana, la grasa láctea ovina de raza Churra contiene una relación baja entre ácidos insaturados y saturados (0,40), pero una relación adecuada entre los ácidos ω -6 y ω -3 (4,01), además de una cantidad no despreciable del isómero más activo del ácido linoleico conjugado (0,89 %).

“Factores genéticos y ambientales de los niveles de ácidos grasos en la leche de oveja de raza Churra”.

La hipótesis de este trabajo es que el contenido en ácidos grasos de la leche ovina puede ser modificado por selección. El objetivo es estimar los parámetros genéticos en una población de ovejas de raza Churra.

La determinación de la concentración de cada ácido graso se realizó mediante cromatografía de gases en el laboratorio del Departamento de Tecnología y Higiene de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria, Universidad de León. Los caracteres estudiados fueron: 36 ácidos grasos: C_{4:0}, C_{6:0}, C_{8:0}, C_{10:0}, C_{12:0}, C_{13:0}, C_{14:0}iso, C_{14:0}, C_{15:0}iso, C_{14:1}, C_{15:0}, C_{15:1}, C_{16:0}, C_{17:0}, C_{16:1}, C_{17:0}antiso, C_{18:0}iso, C_{17:1}, C_{18:0}, C_{18:1t11}, C_{18:1c9}, C_{18:1c11}, C_{18:1c12}, C_{18:2t}, C_{18:2c}, C_{20:0}, C_{18:3ω6}, C_{20:1}, C_{18:33c}, C_{18:29c11t}, C_{18:210t12c}, C_{21:0}, C_{22:0}, C_{20:4}, C_{23:0} y C_{24:0}; 6 agrupaciones: AGS, (ácidos grasos saturados totales), AGS-cc (cadena corta, entre C₄-C₁₀), AGS-cm (cadena media C₁₂-C₁₅) y AGS-cl (cadena larga C₁₆-C₂₄), AGMI (monoinsaturados) y AGPI (poliinsaturados) y 6 índices: (I/S, ω-6/ω-3, C_{14:1}/C_{14:0}, C_{16:1}/C_{16:0}, C_{18:1}/C_{18:0} y C_{18:21c9t11}/C_{18:1t11}). La concentración de cada ácido graso se expresó en gramos por 100 gramos de ácidos grasos totales.

Las estimaciones de las heredabilidades, repetibilidades y correlaciones genéticas se obtuvieron en un análisis multivariante, mediante descomposición de la varianza con el programa VCE (Groeneveld, 1998). Las estimaciones de los parámetros genéticos para los caracteres estudiados se calcularon utilizando un modelo animal con repetibilidad que incluye los siguientes términos: Y_{ijklm} , variable dependiente, μ , media, RDC_i , efecto fijo de la combinación rebaño día de control, F_j , efecto fijo de la fase de lactación (1-6 meses), E_l , efecto fijo de la edad de la oveja (1-6), p_m , efecto aleatorio del ambiente permanente, a_n , efecto aleatorio del valor genético aditivo y e_{ijklm} , efecto aleatorio residual.

Antes de abordar el objetivo planteado, se diseñaron dos experimentos destinados, el primero a valorar la repetibilidad analítica del método laboratorial elegido y el segundo a estimar la repetibilidad temporal (diaria, semanal y mensual) de la composición en ácidos grasos de la grasa láctea.

Como resultado del primer experimento, en el que se analizaron 10 alícuotas de cada una de las muestras lácteas tomadas de 12 ovejas diferentes, hemos podido concluir que la cuantificación porcentual de la composición en ácidos grasos de la leche, realizada mediante cromatografía de gases (GC-MS), acoplada al espectrómetro de gases, reproduce los resultados analíticos con una repetibilidad próxima al 90% en la mayoría de los ácidos grasos, cuando su concentración supera el 1%.

En el segundo experimento se diseñó la recogida de 596 muestras de leche procedentes de 32 ovejas y recogidas en diferentes horas, días, semanas y meses de la misma lactación. Las repetibilidades temporales globales (diarias, semanales y mensuales) de los ácidos grasos mayoritarios fueron respectivamente (0,62, 0,58 y 0,45).

El objetivo principal de este trabajo se abordó utilizando la base de datos productivos y genealógicos que mantiene ANCHE (Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra). El diseño factorial utilizado, contiene un total de 4.579 muestras de leche, procedente de 1.078 ovejas, hijas de 15 sementales y distribuidas en 14 rebaños pertenecientes al núcleo de selección de la raza Churra. Esta población de ovejas ha sido muestreada al menos dos veces durante la lactación y al menos en dos lactaciones, desde Enero de 2006 hasta Junio de 2007, a través de la toma de muestras de leche procedentes del control lechero oficial.

En relación con la composición en ácidos grasos, se ha constatado la existencia de una amplia distribución en su cadena carbonada, que varía desde el butírico (C_{4:0}) hasta el lignocérico (C_{24:0}), incluyendo pares, impares, saturados, insaturados, *cis* y *trans*. Además, se ha observado una gran variabilidad fenotípica, con proporciones muy variables, tanto entre rebaños como entre ovejas dentro del mismo rebaño, dando lugar a coeficientes de variación muy elevados, si se comparan con otros caracteres asociados a la producción de leche.

De los 36 ácidos grasos diferentes identificados, 20 no alcanzan un 1% de media en la población, destacando, al igual que en ganado vacuno y caprino los siguientes: cáprico (C_{10:0}, 8,61 %), mirístico (C_{14:0}, 10,18%), palmítico (C_{16:0}, 22,04%), oleico (C_{18:1n-7}, 15,35%) y esteárico (C_{18:0}, 10,50%).

En relación con los aspectos de mayor interés, desde el punto de vista de la alimentación humana, la proporción media de ácidos grasos saturados (AGS), fue del 71,35%, la de monoinsaturados (AGMI), del 22,10% y la de poliinsaturados (AGPI), del 6,54%. La relación Insaturados/Saturados fue de 0,38, la relación ω -6/ ω -3 de 4,35 y el contenido en CLA (ácido linoleico conjugado o ácido ruménico (C_{18:2 c9t11})) del 0,89%.

Para el global de los AGs el factor de variación más importante, tomando como criterio el porcentaje de varianza explicada, fue el *Día de control*, con el 44,56 %, seguido del factor *Rebaño*, con el 13,93%, la fase de lactación con el 1,13 % y la *Edad de la oveja* con el 0,55 %. El resto de la varianza se corresponde con la *oveja* (2,54 %) y la *residual* (37,29 %).

La importancia del factor *Día de control* es debida a su asociación con las circunstancias puntuales del rebaño en el día del control, particularmente con la alimentación, el manejo y otros factores ambientales temporales. Estos efectos generan alta variabilidad en el contenido de los AGs a lo largo del año y dentro de cada rebaño. El porcentaje de varianza explicada por el factor *Día de control* fue especialmente alto (60,7% y 68,2%) respectivamente para el CLA (C_{18:2c9t11}) y el ácido linoleico (C_{18:3c}) debido a la importante influencia que sobre ambos tienen las variaciones en la alimentación a lo largo del año.

A medida que avanza la lactación se ha observado un aumento en las proporciones de AGMI y AGPI, mientras que los AGS muestran la tendencia contraria. A medida que avanza la edad de la oveja se observa un descenso porcentual de los AGMI y los AGPI y, en consecuencia, un aumento en la proporción de los AGS. Los AGS alcanzan su máxima proporción en invierno y la mínima en primavera-verano, situación contraria a la mostrada tanto por los AGMI, como por los AGPI. El CLA muestra la misma tendencia que los AGPI a los que pertenece.

Las correlaciones entre los diferentes ácidos grasos pusieron de manifiesto dos grupos. Los AGs de cadena corta y media entre C_{8:0} y C_{16:0} por una parte y los C_{18:0} mayoritariamente insaturados por otra. Las correlaciones son positivas entre los AGs dentro de cada grupo, debido al mismo origen, se sintetizan “de novo” los AGs de cadena corta o pasan de la sangre a la leche los de cadena larga, y correlaciones

negativas entre los grupos. Así el $C_{18:2\ c9t11}$ está positivamente asociado al los AGMI (0,41) y a los AGPI (0,61) y negativamente a los AGS (-0,56). Las correlaciones entre los AGs y los caracteres de cantidad y composición de la leche fueron muy bajas y de diferente signo.

Los parametros genéticos, heredabilidades (h^2) y repetibilidades (r) del contenido en ácidos grasos de la leche, ofrecieron valores muy bajos, oscilando los de la h^2 entre 0,00 ($C_{14:1}$) y 0,19 ($C_{18:2c}$), con un valor promedio de 0,05 para la heredabilidad y 0,08 para la repetibilidad. Estos resultados no aconsejan el uso de la selección como método de mejora genética del perfil de ácidos grasos en la leche en la raza Churra, en las condiciones actuales de manejo.

SUMMARY

“Genetic and environmental factors influencing variation of fatty acids composition in Churra sheep milk”.

The hypothesis of this work is that the fatty acid content of sheep milk can be modified by selection. The objective is to estimate genetic parameters in a population of Churra sheep.

The concentration of each fatty acid was determined by gas chromatography in the laboratory of the Department of Food Technology and Hygiene of the Veterinary Faculty of León University. The characters studied were: 36 fatty acids: C_{4:0}, C_{6:0}, C_{8:0}, C_{10:0}, C_{12:0}, C_{13:0}, C_{14:0iso}, C_{14:0}, C_{15:0iso}, C_{14:1}, C_{15:0}, C_{15:1}, C_{16:0}, C_{17:0}, C_{16:1}, C_{17:0antiso}, C_{18:0iso}, C_{17:1}, C_{18:0}, C_{18:1t11}, C_{18:1c9}, C_{18:1c11}, C_{18:1c12}, C_{18:2t}, C_{18:2c}, C_{20:0}, C_{18:3ω6}, C_{20:1}, C_{18:33c}, C_{18:29c11t}, C_{18:210t12c}, C_{21:0}, C_{22:0}, C_{20:4}, C_{23:0} and C_{24:0}; 6 groups: SFA, (total saturated fatty acids), SFA-sc (short chain, C₄-C₁₀), SFA-mc (medium chain C₁₂-C₁₅) and SFA-lc (long chain C₁₆-C₂₄), MUFA (monounsaturated fatty acids) and PUFA (polyunsaturated fatty acids) and 6 indexes: (I/S, ω-6/ω-3, C_{14:1}/C_{14:0}, C_{16:1}/C_{16:0}, C_{18:1}/C_{18:0} and C_{18:21c9t11}/C_{18:1t11}). The concentration of each fatty acid was expressed in grams per 100 grams of total fatty acids.

Heritability, repeatability and genetic correlations were estimated using multivariate analysis, by decomposing the variance with the VCE program (Groenevel, 1998). The estimates of the genetic parameters for the studied characters were calculated using an animal model with repeatability that includes the following terms: Y_{ijklm} , dependant variable, μ , mean, RDC_i , fixed effect of the flock control day combination, F_j , fixed effect of lactation stage (1-6 months), E_l , fixed effect of ewe age (1-6), p_m , random effect of permanent environment, a_n , random effect of additive genetic value and e_{ijklm} , residual random effect.

Two experiments were designed before undertaking the proposed task, the first to evaluate the analytical repeatability of the chosen laboratory method and the second to estimate the temporal repeatability (daily, weekly and monthly) of the fatty acid composition of milk fat.

In the first experiment 10 aliquots of each milk sample taken from 12 different ewes were analysed and we concluded that the percentual quantification of fatty acid

composition of milk, obtained by gas chromatography (GC-MS) and a gas spectrometer, reproduces the analytical results with almost 90% repeatability for most of the fatty acids, at concentrations of over 1%.

In the second experiment, 596 milk samples were taken from the milk of 32 ewes at different times, days, weeks and months in the same lactation. Overall temporal repeatabilities (daily, weekly and monthly) of the major fatty acids were 0.62, 0.58 and 0.45, respectively.

The production and genealogy data of ANCHE (Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Churra) was used in this study. The factorial design employed contains a total of 4579 milk samples from 1078 ewes, the daughters of 15 stud rams, distributed in 14 flocks belonging to the Churra selection nucleus. This population of ewes was sampled at least twice during lactation and in at least two lactations, from January 2006 to June 2007, by taking samples of milk from official milk control.

With regard to fatty acid composition, a wide distribution was observed in the carbon chain, ranging from butyric acid (C_{4:0}) to lignoceric acid (C_{24:0}), including even numbered, odd numbered, saturated, nonsaturated, *cis* and *trans* acids. High phenotypic variability was also observed, with very variable proportions both amongst flocks and between ewes in the same flock, resulting in high coefficients of variation in comparison with other characters associated with milk production.

20 of the 36 different fatty acids identified did not reach a mean of 1% in the population. As also occurs in cattle and goats, the following acids gave the highest values: capric (C_{10:0}, 8.61 %), myristic (C_{14:0}, 10.18%), palmitic (C_{16:0}, 22.04%), oleic (C_{18:1n-7}, 15.35%) and stearic (C_{18:0}, 10.50%).

Regarding aspects of greatest interest from the perspective of food for human consumption, the mean proportion of saturated fatty acids (SFA) was 71.35%, monounsaturated fatty acids (MUFA) 22.10% and polyunsaturated fatty acids (PUFA), 6.54%. The Saturated/Unsaturated ratio was 0.38, the ω -6/ ω -3 ratio 4.35 and CLA content (conjugated linoleic acid or rumenic acid (C_{18:2 c9t11}) 0.89%.

For all FAs, the most important variation factor, taking the percentage of variance explained as criterion, was the *Control day* factor, with 44.56 %, followed by

Flock, with 13.93%, lactation stage with 1.13 % and *Ewe age* with 0.55 %. The remaining variance corresponded to *ewe* (2.54 %) and *residual* (37.29 %).

The importance of the *Control day* character is due to its association with the specific circumstances of the flock on the control day, in particular feeding, management and other temporary environmental factors. These effects cause high variability in FA content throughout the year and within each flock. The percentage of variance explained by the *Control day* factor was particularly high, 60.7% and 68.2%, respectively, for CLA (C_{18:2c9t11}) and linoleic acid (C_{18:3c}) due to the important effect that variations in feeding have on them during the year.

As lactation progressed MUFA and PUFA proportions increased, whereas SFA showed the opposite trend. As the age of the ewe increased there was a percentual decrease in MUFA and PUFA and, consequently, an increase in the proportion of FA. The proportion of FA reached maximum level in winter and minimum level in spring-summer, the opposite occurring in both MUFA and PUFA. CLA showed the same tendency as the MUFA to which they belong.

Correlations between different fatty acids revealed two groups. Short and medium FA between C_{8:0} and C_{16:0} and mostly unsaturated C_{18:0} FA. Correlations between FA were positive in each group as they were from the same origin, short chain FA were synthesized “de novo” or long chain FA passed from the blood to the milk, and negative correlations between the groups. Thus, C_{18:2 c9t11} was positively associated with MUFA (0.41) and PUFA (0.61) and negatively associated with SFA (-0.56). Correlations between FA and milk quantity and composition were very low and had a different sign.

The genetic parameters, heritabilities (h^2) and repeatabilities (r) of the fatty acid content in milk gave very low values, those for h^2 varying between 0.00 (C_{14:1}) and 0.19 (C_{18:2c}), with a mean value of 0.05 for heritability and 0.08 for repeatability. These results indicate that selection is not recommended as a method of genetic improvement of the fatty acid profile in milk obtained from the Churra breed under current management conditions.

BIBLIOGRAFÍA

A

- Agabriel, A., Coulon, J. B., Marty, G., Cheneau, N., 1990. Facteurs de variation du taux protéique du lait de vache. Etude dans des exploitations du Puy-de-Dôme. *INRA Prod. Anim.*, 3 (2): 137-142.
- Alais, C. 1985. *Ciencia de la leche: principios de técnica lechera*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 31-177 pp.
- Aldai, N., Murray, B.E., Nájera, A.I., Troy, D.J., Osoro, K. 2005. Derivatization of fatty acids and its application for conjugated linoleic acid studies in ruminant meat lipids. *J. Sci. Food Agric.*, 85: 1073-1083.
- Allen, J.C. Keller, R.P. Archer, P., Neville, M.C. 1991. Studies in human lactation: milk composition and daily secretion rates of macronutrients in the fat year of lactation. *Am. J. Clin.*, 54: 69-80.
- Álvarez, L., Gutiérrez-Gi, B., San Primitivo, F., De La Fuente, L. F., Arranz, J. J. 2006. Influence of Prion Protein Genotypes on Milk Production Traits in Spanish Churra Sheep. *J. Dairy Sci.*, 89: 1784-1791.
- ANCHE. 2008. *Catálogo de sementales de raza Churra*. Centro de selección de la Diputación de Valladolid. 88pp.
- Anifantakis, E. M., Kaminarides, S. E., 1986. Contribution to the study of Halloumi cheese made from sheep's milk. *Aust. J. Dairy Technol.*, 38: 29-35.
- Antongiovanni, M. Mele, M., Buccioni, A.; Petacchi F., Serra, A., Mellis, M.P., Cordeddu, L., Banni, S., Secchiari, P.J. 2004. Effect of forage/concentrate ratio and oil supplementation on C_{18:1} and CLA isomers in milk fat from Sarda ewes, *Anim. Feed Sci. 13. (Suppl.1)*: 669–672.
- Assenat, L. 1991. La leche de oveja. En: F.M.Luquet; *Leche y Productos Lácteos*. Ed. Acribia S.A., Zaragoza, España. Vol. 1, 277-311.
- Avdi, M, and Chemineau, P. 1998. Reproductive and productive performance in Chios ewes mated in spring or in autumn. *Reprod. Nutr. Dev.*, 38(5): 551-558.

B

- Barbano, D. M., and Sherbon, J. W., 1984. Cheddar cheese yields in New York. *J. Dairy Sci.*, 67: 1873 -1879.
- Barbosa, A.P.E. 2006. *Estudio genético y ambiental de la concentración de ácido linoleico conjugado en la leche de ovino de razas españolas*. Trabajo de investigación. Curso de doctorado. Universidad de León, Facultad de Veterinaria. España. 115 pp.
- Barillet F., Astruc J. M., Lagriffoul G., 1994. Amélioration génétique de la composition du lait des brebis laitières: Situation, résultats et perspectives. *Renc. Rech. Ruminants, 1*: 133 - 139.

- Barillet, F., Elsen, J.M., Roushely, M., 1986. Optimization of a selection scheme for milk composition and yield in milking ewes: exemple of the Lacaune breed. In: *3rd World Congress on Genetics applied to Livestock Production, July 16-22, University of Nebraska, Lincoln.*
- Barillet, F., Rupp, R., Mignon, G. S., Astruc, J. M., Jacquin, M., Lagriffoul, G. 1999. Genetic analysis for mastitis resistance and somatic cell score in French Lacaune dairy sheep. *EAAP Publication, 95*: 393-401.
- Barillet, F., 1997. Genetics of milk production. En: *The genetics of the sheep*. Ed.: L. Piper and A. Ruvinsky. CAB International.
- Barillet, F. 1985. *Amélioration génétique de la composition du lait des brebis*. Tesis Doctoral. I.S.A, Institut National Agronomique, Paris-Grignon.
- Barillet, F. 2007. Genetic improvement for dairy production in sheep and goats. *Small Ruminant Research, 70(1)*: 60-75.
- Barillet, F. and Biochard D., 1994. Use of first lactation test day data for genetic evaluation of the Lacaune dairy sheep. *Proc. 5th WCGALP, Guelph, Canada, 18*: 111 pp.
- Barillet, F., Roushely, M., 1986. Amélioration génétique de la composition du lait de brebis: Stratégie raisonnée à l'échelle d'une population ovine. *LIèmes journées de la recherche ovine et caprine*, Paris, 2-3 Décembre, ITOVEC-SPEOC Paris, 316 – 341.
- Barillet, F., Roushely, M., 1987. Mejora genética del ovino lechero en francia: Balance y perspectivas. *ITEA, N° 72*: 3.
- Barillet, F., Rupp, R., Mignon-Grasteau, S., Astruc, J.M., Jacquin, M. 2001. Genetic analysis for mastitis resistance and milk somatic cell score in French Lacaune dairy sheep. *Genet. Sel. Evol.* 33: 397-415.
- Baro, A., Carriedo, J.A., San Primitivo, F. 1994. Genetic parameters of test-day measures for somaticcell count, milk yield and protein percentage of milking ewes. *Journal of Dairy Science, 77*: 2658-2662.
- Bartsch, h., Nair, J., Owen, R.W. 1999. Dietary polyunsaturated fatty acids and cancers of the breast and colorectum: emerging evidence for their role as risk modifier. *Carcinogenesis, 20(12)*: 2209-2218.
- Bauchart, D., Doreau, M., Legay-Carmier, F. 1985. Utilisation digestive des lipides et conséquences de leur introduction sur la digestion des ruminants. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 61*: 65-77.
- Bauman, D.E., Baumgard, L.H., Corland, B.A., Griinari, J.M. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0940.pdf> Consultado en 15/09/2007.

- Bauman, D.E., Baumgard, L.H., Corl, B.A., Griinari, J.M. 2000. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal.* Available at: www.asas.org/jas/symposia/proceedings/0937.pdf. Consultado en 15-09-2007.
- Bauman, D.E., Perfield, J.W., Veth, M.J., Lock, A.L., 2003. New Perspective on Lipid digestion and metabolism in ruminants. *Proc. Cornell Nutr. Conf.* 175-189 pp.
- Bauman, D.E., I. H. Mather, R. J. Wall, Lock, A.L. 2006. Major Advances Associated with the Biosynthesis of Milk. *J. Dairy Sci.*, 89: 1235-1243.
- Beaulieu, A.D., Palmquist, D.L. 1995. Differential effects of high fat diets on fatty acid composition in milk of Jersey and Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 78: 1336-1344.
- Ben Salem, H., Krzeminski, R., Ferlay, A., Doreau, M. 1993. Effect of lipid supply on in vivo digestion in cows: comparison of hay and corn silage diet. *Can. J. An. Sci.*, 73: 547-577.
- Benmederbel B., 1982. *Production et composition du lait, aptitude à la traite et morphologie mammaire chez des brebis Lacaune, traite une à deux fois par jour avec ou sans égouttages.* Tesis Doctoral. Ingénieur, INP Toulouse – Francia.
- Beorlegui, C.B., 2004. Cambios en el Perfil de Ácidos Grasos en Productos Animales en Relación con la Alimentación animal y humana. Importancia del Ácidos Linoleico conjugado. 1. Ruminantes. *XX Curso de Especialización FEDNA.* Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid, 79-200.
- Bligh, E.G., Dyer, W. J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal Biochemistry Physiology*, 37: 911-917.
- Bouattour, M.A., Casals, R., Albanell, E., Such, X., Caja, G. 2008. Feeding soybean oil to dairy goats increases conjugated linoleic acid in milk. *J. Dairy Sci.*, 91: 2399-2407.
- Bobe, G., C. Beitz, A.E. Freeman, G.L. Lindberg. 1999. Effect of milk protein genotypes on milk protein composition and its genetic parameter estimates. *J. Dairy Sci.*, 82: 2797-2804.
- Bobe, G., Minick Bormann, J.A., Lindberg, G.L., Freeman, A.E., Beitz, D.C. 2008. *Short Communication:* Estimates of genetic variation of milk fatty acids in US Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 91: 1209-1213.
- Bocquier, F., Thériez, M., Brelutut, A. 1987a. The voluntary hay intake of ewes during the first weeks of lactation. *Anim. Prod.*, 44: 387-394.
- Bocquier, F., Thériez, M., Brelutut, A. 1987b. Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation. *Bull. Tech. CRZV-Theix, INRA*, 70: 199-211.
- Bonaiti, B. 1985. Composition du lait et selection laitière chez les ruminants. *Bull. Tech. CRZU, Theix. INRA*, 59: 51-61.
- Boyazoglu J. G., 1963. Aspects quantitatifs de la production laitière des brebis: I. Mise au point bibliographique. *Ann. Zootech.*, 12 (4): 237-243.

Busetti, M.R. 2004. Composición de la leche de ovejas Pampinta a lo largo de un período de lactación. *Bol. Divulgación Técnica (INTA-Anguil)*, n.º 71, 14p. En: <http://www.inta.gov.ar/anguil/info/boletines/bol90/pdf/cap26.pdf> Consultado en 23-02-2007.

C

Caballero, R., Rióperéz, J., Fernández, E., Arauzo, M., Hernaíz, P.J. 1992. Performance of Manchega ewes grazing cereal stubbles and cultivated pastures. *Small Ruminant. Res.*, 7: 315-329.

Caja, G., 1994. Physical-chemical characteristics and variation factors of sheep milk. *Cours international*, 23 Mai-3 Jun, Bella-Italie.

Calvo, M. 2006. *Ácidos Grasos. Bioquímica de los alimentos*. In: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/lipidos/acidosgrasos.html>.

Cappelletti C. A., 1998. *Modelos estadísticos para la valoración genética en ganado ovino de aptitud láctea. Tesis doctoral*, Universidad de León, España.

Cappio-Borlino A., Portolano B., Todaro M., Macciotta N.P.P., Giaccone P., Pulina G., 1997. Lactation curves of Valle del Belice dairy ewes for yields of milk, fat and protein estimated with test day models. *J. Dairy Sci.*, 80: 3023-3031.

Carriedo J. A., San Primitivo F., 1982. Estudio genético de los factores que influyen en la producción láctea del ganado ovino: heredabilidad y repetibilidad. 2nd. *Congreso mundial de genética aplicada a la producción ganadera*. Madrid, 4-8 de Octubre.

Carriedo J. A., Diez R., San Primitivo F., 1982. Genetic study of some factors influencing the milk production of dairy ewes. II. Environmental factors. 2nd *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Madrid*, p: 753.

Carriedo, J. A., J. A. Baro, L. F. de la Fuente, and F. San Primitivo. 1995. Genetic parameters for milk yield in dairy sheep. *J. Anim. Breed. Genet.* 112: 59-63.

Carriedo, J.A., San Primitivo, F. 1979. Curvas de lactación en rebaños de ovejas Churras. *An. Fac. Vet. León.* 25: 99 - 106. España

Carro, M.D., Lebzien, P. and Rohr, K. 1997. Effects of pore size of nylon bags and dilution rate on fermentation parameters in a semi-continuous artificial rumen. *Small Rum. Res.*, 15: 113-119.

Carta, A., Sanna, S. R., Casu, S., 1995. Estimating lactation curves and seasonal effects for milk, fat and protein in Sarda dairy sheep with a test day model. *Livest. Prod. Sci.*, 44: 37-48.

Carta, A., Casu, S., Usai, M.G., Addis, M., Fiori, M., Fraghi, A., Miari, S., Mura, L., Piredda, G., Schibler, L., Sechi, T., Elsen, J.M., Barillet, F. 2008. Investigating the genetic component of fatty acid content in sheep milk. *Small Rum. Res.* 79 (1): 22-28

- Castel, J.M.; Micheo, J.M.; Fernandez, V.; Sanchez, A. 2005. Influencia de distintos factores en la cantidad y calidad de la leche producida por cabras de raza malagueña. *XXX Jornadas SEOC*. 338-340 pp.
- Casu S., Carta R., Flamant J. C., 1975. Amélioration génétique de la production laitière des brebis Sardes. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 7 (1): 73-79.
- Casu, S., Carta, R., Ruda, G. 1983. Morphologie de la mamelle et aptitude à trait mécanique de la brebie Sarde. *3^{er} Symp. Int. Ordeño Mecánico Pequeños Ruminantes*, Ed. Sever, Valladolid: 592-603 pp.
- Catania, P., Damiani, T. 2001. *Aspectos generales de los lípidos*, 2^a Ed. Madrid, 1-11.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbrige, R.M., Doreau, M. 2000. Ruminant milk fat plasticity. Nutritional control of saturated, polyunsaturated, *trans* and conjugated linoleic acids. *Ann. Zootech.*, 49: 181-205.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M. 2001a. Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières: acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA. Prod. Anim.*, 14 (5): 323-335.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M. 2001b. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cows diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livestock Prod. Sci.*, 70: 31-48.
- Chilliard, Y., Rouel, J., Leroux, C. 2006. Goat's alpha-s1 casein genotype influences its milk fatty acid composition and delta-9 desaturation ratios. *Animal Feed Science and Technology*, 131 (3-4): 474-487.
- Chin, S.F., Liu, W. Storkson, J. M., Ha, Y .L., Pariza, M. W. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a new recognized class of anticarcinogens. *Journal of Food Compositional Analysis* 5: 185-197.
- Chiofalo, B., Azzara, V., Venticingue, L., Piccolo, D., Chiofalo, L. 2004. Variations of fatty acids in Ragusana Ass's milk during lactation. *55th Annual Meeting of the EAAP*. Zootecnia y Nutrizione Animale.
- Christie, W. W., 1982. *Lipids analysis*, 2nd Ed, Pergamon Press, oxford, New Yor, 325-397.
- Collomb M., Bühler, T. 2000. Analyse de la composition en acides gras de la graisse de lait. Optimisation et validation d'une méthode générale à haute résolution. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 91: 306-332.
- Collomb, M., Bütikofer, U., Sieber, R., Jeangros, B., Bosset, J.O. 2002. Composition of fatty acids in cow's milk fat produced in the lowlands, mountains and highlands of Switzerland using high-resolution gas chromatography. *International Dairy Journal*, 12: 649-659.
- Corl, B. A.; Baumgard, L. H.; Dwyer, D. A.; Griinari, J. M.; Philips, B. S. and Bauman, D. E. 2000. The role of delta-9-desaturase in the production of cis-9, trans-11

CLA and other delta-9 desaturated fatty acids in milk fat. *J. Dairy Sci.*, 83: (1): 164.

Cottier, M., Liquière, B. 1986. La composition du lait des brebis Lacaune et ses variations. *11^{èmes} Journées Recherche Ovine et Caprine*. ITOVIC-SPEOC, Paris: 299-309 pp.

Coulon J. B., Chilliard Y., Rémond B., 1991. Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques. *INRA Prod. Anim.*, 4 (3): 219-231.

Coulon, J.B., Rénaud, B. 1991. Reponses de la production et de la composition du lait aux variations d'apports nutritifs. *INRA. Prod. Anim.*, 4: 49-56.

Coulon, J.B., Lilos, J.P. 1998. Composition chimique et contamination butyrique du lait: Facteurs de variations dans le department de la Haute-Loire. *INRA. Prod. Anim.*, 1: 201-207.

Craninx, M., Steen, A., Van Laar, H., Van Nespén, T., Martín-Tereso, J., De Baets, B., Fievez, V. 2008. Effect of lactation stage on the odd- and branched-chain milk fatty acids of dairy cattle under grazing and indoor conditions. *J. Dairy Sci.*, 91: 2662-2677.

D

De La Fuente L. F., San Primitivo F., Fuertes J. A., Gonzalo C., 1997. Daily and between-milking variations and repeatabilities in milk yield, somatic cell count, fat, and protein of dairy ewes. *Small Rumin. Res.*, 24: 133-139.

Delacroix-Buchet A., Barillet F., Lagriffoul G., 1994. Caractérisation de l'aptitude fromagère des laits de brebis Lacaune à l'aide d'un Formagraph. *Lait*, 74: 173-179.

Dhiman, T.R., Satter, L.D., Pariza, M.W., Galli, M.P., Albright, K., Tolosa, M.X. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA) content in milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. *J. Dairy Sci.* 83: 1016-1027.

Doreau, M., Poncet, C. 2000. Ruminant biohydrogenation of fatty acids originating from fresh or preserved grass. *Reprod. Nutr. Dev.*, 40: 201-214.

Doreau, M., Ferlay, A. 1994. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 45: 379-396.

Drachley, J.K. 2007. Overview of fat digestion and metabolism in dairy cows. In: <http://www.thedairysite.co/articles/793/overview-of-fat-digestion-and-metabolism-in-dairy-cows>. Consultado en 08-11-2007.

Duckett, S. K., Andrae, J.G., Owens, F.N. 2002. Effect of high oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J. Anim. Sci.* 80: 3353-3360.

Dulce, E. 2005. Lechería ovina. *El crecimiento de las leches no tradicionales en Argentina*. Facultad de Agronomía (UBA) 6 pp.

E

- Edwards, R.A., King, J.W.B., Yousef, I.M. 1973. A note on the genetic variation in the fatty acid composition of cow milk. *Anim. Prod.*, 16: 307-310.
- El-Saied U. M., Carriedo, J.A., Baro, J.A. De La Fuente, L.F., San Primitivo, F. 1998. Genetic correlations and hereditabilities for milk yield and lactation length of dairy sheep. *Small Ruminant Research.*, 27: 217-221.
- El-Saied U. M., Carriedo J. A., San Primitivo F., 1998a. Heritability of test day somatic cell counts and its relationship with milk yield and protein percentage in dairy ewes. *J. Dairy Sci.*, 81: 2956.
- El-Saied U. M., Carriedo J. A., De La Fuente L. F., San Primitivo F., 1999. Genetic parameters of lactation cell counts and milk and protein yields in dairy ewes. *J. Dairy Sci.*, 82: 639
- El-Saied, U.M., De La Fuente, L.F., Carriedo, J.A., San Primitivo, F., 2005. Genetic and Phenotypic Parameter Estimates of Total and Partial Lifetime Traits for Dairy Ewes. *J. Dairy Sci.*, 88: 3265–3272.
- El-Saied, U.M., De La Fuente, L.F. y San Primitivo, F. 2006a. Lifetime traits comparison between annual and accelerated lambing systems for dairy ewes. *Livestock Science*, 101: 180-190.
- Enjalbert, F., Nicot, M., Bayourthe, C., Moncoulon, R. 1998. Duodenal infusions of palmitic, stearic, or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows. *J. Nutr.*, 128: 1525–1532
- Es, A.J.H.V. 1991. Animal nutrition and human health. Lecture of Prize Roche *Research for Animal Nutrition: 1-37.*

F

- Fadel I., Owen J. B., Cassem R., Juha H. 1989. A note on the milk composition of Awassi ewes. *Anim. Prod.*, 48: 606.
- FAO/OMS. 1997. *Report of expert consultation. The role of dietary fats and oils in human nutrition.* FAO. Rome.
- FAO/OMS. 2003. *Report of Joint expert consultation: Diet, Nutrition and prevention of chronic diseases.* WHO Technical report Series 916. Ginebra.
- FAO - Dirección. de Ind. Alimentaria, SAGP y A, 2007. *Estadísticas de Productos Lácteos*, en www.alimentosargentinos.gov.ar/lacteos/default.asp. Consultado en 16-11-2007.
- FAO, 2007. FAOSTAT Database Results. In: www.faostat.fao.org. Consultado en 16-11-2007.
- Feagan, J. T. 1979. Factors affecting protein composition of milk and their significance to dairy processing. *Aust. J. Dairy Technol.* 34: 77-85.
- Ferreira, J.G. 1994. Nutrire: J. Brazilian Soc. *Food Nutr.*, 24: 1-162.

Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., Mc Sweeney, P.L.H., 2000. Fundamentals of Cheese Science. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland, 3: 19-28.

Fritsche J., Steinhart H. 1998. Analysis, occurrence and physiological properties of trans fatty acids (TFA) with particular emphasis on conjugated linoleic acid isomers (CLA) - a review. *Fett. / Lipid; 100*: 190-210.

Fuertes J.A., Gonzalo C., Carriedo J.A., San Primitivo F. 1998: Parameters of test day milk yield and milk components for dairy ewes. *J. Dairy Sci., 81*: 1300–1307.

G

Gabiña D., Arrese F., Arranz J., Beltran de Heredia, López de Munain J. M., 1989. Heredabilidad y correlaciones genéticas de diversos criterios de estimación de la producción lechera en la raza Latxa. *ITEA, 9*: 367-373.

Gabiña, D., F. Arrese, J. Arranz, I. Beltran De Heredia. 1993. Average milk yields and environmental effects on Latxa sheep. *J. Dairy Sci., 76*: 1191-1198.

Galgani, E.M. 2004. Assessment of the status for essential fatty acids and long-chain derivatives in the diet of children younger than 1 year old from Chile. *Rev Chil Nutr., 21 (1)*: 154-160.

Gallardo, M. 2006. *Alimentación y composición química de la leche*. E.E.A. INTA Rafaela. <http://www.produccion-animal.com.ar>. Consultado en 25/07/2007.

Gallego, L., Bernabéu R., Molina, P. 1994. *Producción de leche: Factores de variación. En: Ganado Ovino, Raza Manchega*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 173-190 pp.

Gallego, L., Caja, G., Torre, A. 1983. Estudio de la tipología y características morfológicas de las ubres de ovejas de raza Manchega durante la lactación. *III Symposium Internacional Ordeño Mecánico Pequeños Rumiantes*. Ed. Sever. Valladolid. 100-116 pp.

García, H.S., Arcos, J. A., Ward, D. J., Hill, C. 2003. Synthesis of glycerides containing n-3 fatty acids and conjugated linoleic acid by solvent free acidolysis of fish oil. *Biotechnology and Bioengineering, 70*: 587-591

Gardner, R. W., Hogue, D.E. 1964. Effects of energy intake and number of lambs suckled on milk yield, milk composition and energetic efficiency of lactating ewes. *J. Anim. Sci. 23*: 935–942.

Garnsworthy, P.C., Masson, L. L., Lock, A. L., Mottram, T. T. 2006. Variation of milk citrate with stage of lactation and de novo fatty acid synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci., 89*: 1604-1612.

Gerson, T., A. John, King, A.S.D. 1985. The effect of dietary starch and fiber on the *in vitro* rates of lipolysis and hydrogenation by sheep rumen digesta. *J Agric. Sci. (Camb.) 105*:27-30.

Gibson, J.P. 1995. The potential for genetic change in milk fat composition. *J. Dairy Sci. 74*: 3258-3266.

- Gómez-Cortés, P. Frutos, A. R. Mantecón, M. Juárez, M. A., De La Fuente, F., G. Hervás. 2008. Addition of olive oil to dairy ewe diets: effect on milk fatty acid profile and animal performance. *J. Dairy Sci.*, 91: 3119-3127.
- González J., Mas M., Lopez G. F. 1991. Características de la leche de oveja Merina y del queso de la serena producidos en tres explotaciones tipo. *Invest. Agra., Prod. Sanid. Anim.*, 6: 143-150.
- Gonzalo, C., Carriedo, J.A., Baro, J.A., San Primitivo, F. 1994. Factors influencing variation of test day milk yield, somatic cell count, fat and protein in dairy sheep. *J. Dairy Sci.*, 77: 1537-1542.
- Gonzalo, C. 1995. Factors influencing variation of test day milk yield, somatic cell count, fat and protein in dairy sheep. *J. Dairy Sci.* 77: 1537-1542.
- Greeff, J.C., Young, P., Kitessa, S., Dowling, M. 2006. Preliminary heritability estimates of individual fatty acids in shepp meat. Australian Society of Animal Production. 26th Biennial Conference. Short Communication n.º 36.
- Griinari, J. M. Bauman, D. E. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In: Conjugated Linoleic Acid: Biochemical, Nutritional, Clinical, Cancer, and Methodological Aspects Yurawecz, M. P., Mossoba, M. M., Kramer, J.K.G., Nelson, G. & Pariza, M. W., eds.), pp. 180–200. AOCS Press, Champaign, IL.
- Griinari J.M., Cori, B.A., Lacy, S.H., Chouinard, P.Y., Nurmela, K.V.V., Bauman, D.E. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Delta (9)-desaturase. *Journal of Nutrition*, 130: 2285-2291.
- Griinari, J. M., Nurmela, K., Dwyer, D. A., Barbano, D. M., Bauman, D. E., 1999. Variation of milk fat concentration of conjugated linoleic acid and milk fat percentage is associated with a change in ruminal biohidrogenation. *J. Dairy Sci.*, 77: 117-118.
- Griinari, J.M., D.A. Dwyer, M.A. McGuire, D.E. Bauman, D.L. Palmquist, K.V.V. Nurmela, 1998. Transoctadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. Dairy. Sci.*, 81: 1251-1261.
- Grosev, G., Mehochev, M., Dimitrov, G., Boneu, B. 1983. Características del ordeño de las ovejas de raza Stara Zagora. *III Symp. Int. Ordeño Mecánico Pequeños Rumiantes*. Valladolid: 35-43.
- Groeneveld, E., 1998. VCE4 User's Guide Manual. Institute of Animal Husbandry and Animal Sciences, Mariensee, Germany.
- Gulati, S. K., J. R. Ashes,, T. W. Scott. 1997. Hydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids and their incorporation into milk fat. *Anim. Feed Sci. Technol.* 79: 57-64.
- Gutierrez, J. 2006. *Factores que influyen sobre el lechazo de raza Churra*. Tesina. Universidad de León, Facultad de Veterinaria. Departamento de Producción Animal I. 76 pp.

Gutiérrez, J.P. Legaz, E., Goyache, F. 2007. Genetic parameters affecting 180-days standardised milk yield, test-day milk yield and lactation length in Spanish Assaf (Assaf.E) dairy sheep. *Small Rumin. Res.*, 70: 233-238.

H

Ha Y.L., Grimm N.K., Pariza MW. 1987. Anticarcinogens from fried Ground Beef: Heat-Altered Derivatives of Linoleic Acid. *Carcinogenesis* 8 (12): 1881-1887.

Halpern, M.J., 1997. *Bioquímica*. Lidel ediciones técnicas, Lisboa, 625 pp.

Hanosh, M., Bitman, J. Wood, L., Hanosh, P., Mehta, N.R. 1984. Lipids in milk and the first steps in their digestion. *Pediatrics*. 758 (Suppl): 146-150.

Hara, A., Radin, N. 1987. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Anal. Biochem.*, 90: 420-426

Harfoot, C.G., Hazlewood, G.P. 1988. Lipid metabolism in the rumen. En : *The rumen microbial ecosystem*, Ed.: Hobson, P. N., Elsevier, Barking, UK., 285-322 pp.

Hauswirth, C.B., Martin, M.D., Scheeder, R.L., Beer, J.H. 2003. High ω -3 fatty acid content in alpine cheese. The basis for an Alpine paradox. *Circulation*, 17-20.

Hermansen, J.E. 1995. Prediction of milk fatty acid profile in dairy cows fed dietary fat differing in fatty acid composition. *J. Dairy Sci.*, 78: 872-879.

Herrera, E. 1991. *Elementos de bioquímica*: Interamericana McGraw-Hill, Healthcare Group. 18: 474-489; 20: 507-530. ISBN: 968-25-2035-5

Hervas, G., Luna, P., Mantecón, A.R., Castañares, N., Frutos, P., De La Fuente, M.A. Juaréz, M. 2006. Effect of sunflower oil in sheep milk production and composition, and in vitro rumen fermentation. Proceedings of the *4th European Federation of Lipids Congress*. 571 pp.

Hoden, A., Coulon, J.B. 1991. Matrise de la composition du lait: Influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matière grasses et protéiques. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 62: 69-79.

Huang, Y., Schoonmaker, J.P., Bradford, B.J. and Beitz, D.C. 2008. Response of milk fatty acid composition to dietary supplementation of soy oil, conjugated linoleic acid, or both. *J. Dairy Sci.*, 91: 260-270.

Hu, F.B., Bronner, L., Willet, W.C. 2002. Fish and omega-3 fatty acid intake and risk of coronary heart disease in woman. *Jama. Journal of the American medical Association*, 287 (14): 1815-1821.

Hurley, W. L., 1991. *Milk fat synthesis*. Department of Animal Sciences, University of Illinois, Urbana-Champaign, 1-5.

I

Ip, C., Scimeca, J. A. e Thompson, H. J., 1994. Conjugated linoleic acid: a powerful anticarcinogen from animal fat sources. *Cancer*, 3(74): 1050-1054.

J

- James, M.J., Gibson, R.A., Cleland, L.G. 2000. Dietary polyunsaturated fatty acids and inflammatory mediator production. *American Journal of clinical nutrition*, 71 (1): 3435-3485.
- Jandal, J. M. 1996. Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 22: 177-185.
- Jiang, J., Bjoerck, L., Fonden, R., Emanuelson, M. 1996. Occurrence of conjugated cis-9,trans-11-octadecadienoic acid in bovine milk: effects of feed and dietary regimen. *J. Dairy Sci.*, 3(79): 438-445.
- Jurado J. J., Serrano M., Perez-Guzman M. D., Montoro V. 1995. Improvements in the Manchega genetic breeding program. *Third meeting of the FAO-CIHEAM Cooperative Research Network on Sheep and Goats, Subnetwork on Animal resources*. Tunis, Tunisia.
- Jurado, J.J., Serrano, M. 1997. *Genética y sanidad de la ubre. Situación actual de la mejora genética en ovino de leche*. En: C. Buxadé, (ed). *Ovino de leche: aspectos clave*. Mundi-Prensa: Madrid.

K

- Kaabi, M; Abrang, B; Anel, L; Alvarez, M; Anel, E; De La Fuente, L.F; Bem Hamond, M., Rovissi, H. 1999. *VII Jornadas de Prod. Anim.* (ITEA) Vol Extra 20. Tomo II. 780-782.
- Kalaissakis P., Papadimitriou T., Flamant J., Boyazoglu J., Zervas N., 1977. Comparaison des races ovines Chios et Frisone avec leurs croisements en Grèce continental. II. Production laitière. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 9: 181 - 189.
- Kamra, D.N. 2005. Rumen microbial ecosystem. *Current Science*, 89(1):124-134.
- Karijord, O., Standal, N., Syrstad, O. 1982. Sources of variation in composition of milk fat. *Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol.* 99: 81-83.
- Kay, K., Weber, W.J., Moore, C.E., Bauman, D.E., Hansen, L. B., Chester-Jones, H., Crooker, B.A., Baumgard, L.H. 2005. Effects of week of lactation and genetic selection for milk yield on milk fatty acid composition in Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 88: 3886-3893.
- Kellens, M.J. Goderis, H.L., Tobback, P.P. 1986. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids by a mixed culture of rumen microorganisms. *Biotechnology Bioenergy*: 28(5): 1268-1271.
- Kelly, M.L., Berry, J.R., Dwyer, D.A., Griinary, J.M., Chouinard, P., VAN Amburgh, M.E., Bauman, D.E. 1998a. Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentrations in milk from lactating dairy cows. *Journal Nutrition*, 128: 881-885.

- Kelly, M.L., Kolver, E.S., Bauman, D.E., VAN Amburgh, M.E., Muller, L.D. 1998b. Effect of Intake of Pasture on Concentrations of Conjugated Linoleic Acid in Milk of Lactating Cows. *J. Dairy Sci.*, 81: 1630-1636.
- Kelsey, J.A., Corl, B.A., Collier, R.J., Bauman, D.E. 2003. The effect of breed, parity, and stage of lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86: 2588-2597.
- Khanal, R.C., Olson, K.C. 2004. Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk, meat, and egg: A review. *Pakistan Journal of Nutrition* 3: 82-98.
- Kramer, J.K, Sehat, N, Dugan M, Mossoba MM, Yurawecz MP, Roach JA, Eulitz K, Aalhus JL, Schaefer AL, Ku Y. 1998. Distribution of conjugated linoleic acid (CLA) isomers in tissue lipids classes of pigs fed a commercial CLA mixture determined by gas chromatography and silver ion-high-performance liquid chromatography. *Lipid*; 33: 549-558.
- Kris-Etherton, P., Harris, W.S., Appel, L.J. 2002. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids and cardiovascular disease. *Circulation*, 106 (21): 2747-2757.
- Kurtz, F. E., 1980. *The lipide of milk - composition and properties*. In: Fundamentals of Dairy Chemistry, 2nd Ed, Avi Publishing Company, Inc., 4.
- L**
- Lagriffoul G., Bergonier D., Berthelot X., Jacquin M., Guillouet P. y Barillet F., 1996. Facteurs de variation génétiques et non génétiques des comptages de cellules somatiques du lait de brebis en relation avec les caractères laitiers et les mesures portant sur le lait du tank. *EAAP Publication*, 77: 149 -157.
- Lagriffoul, G., Aurel, M. A., Barillet, F., Bergonier, D., Bernard, J. & Berthelot, X. 1993. Evolution des compactages de cellules somatiques de brebis de race Lacaune: resultats preliminaires [Evolution of Somatic cell count for Lacaune dairy ewes: preliminary results.] In: *Proceedings, 5th International Symposium on Machine Milking of Small Ruminants*, (Ed. S. Kukovics). Budapest: Publication International Committee. 110-119 pp
- Lawrence R. C., Heap H. A., Gilles J., 1984. A controlled approach to cheese technology. *J. Dairy Sci.*, 67: 1632.
- Lawrence, R.C. 1993. Factores affecting the yield of cheese, *IDF Monogr. International Dairy Federation, Special Issue 9301*, Brussels, Belgium.
- Lee S.H, Yamaguchi K, Kim J.S, Eling T.E, Safe S., Park, Y. 2006. Conjugated linoleic acid stimulates an anti-tumorigenic protein NAG-1 in an isomer specific manner. *Carcinogenesis*; 27(5): 972-81.
- Legarra A., Ugarte, E, 2001. Genetic parameters of milk traits in Latxa dairy sheep. *Anim. Sci.* 73(3): 407-412.
- Leroy A. M., 1965. *La vache laitière*. p:133.

- Lin Y, Kreeft A, Schurbiers J.A, Draijer R. 2001. Different effects of conjugated linoleic acid Isomers on lipoprotein lipase activity in 3T3-L1 adipocyte. *Nutr Biochem*, 12: 183-189.
- Linscheer, W.G., Vergroesen, J. 1994. *Lipids*. En: Shils ME, Olson JA, Shike M., eds. Modern nutrition in health and disease, 8th ed. Philadelphia: Lea and Febiger: 47-88 pp.
- Lock A.L., Garnsworthy P.C. 2003. Seasonal variation i milk conjugated linoleic acid and δ -9 desaturase activity in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 79: 47-59.
- Lock, A.L., Teles, B.M., Perfield, J.W., Bauman, D.E., Sinclair, L.A. 2006. A Conjugated Linoleic Acid Supplement Containing trans-10, cis-12 Reduces Milk Fat Synthesis in Lactating Sheep. *J. Dairy Sci.*, 89: 1525-1532.
- Lock, A.L., Rovai, M., Gipson, T.A., de Veth, M.J., Bauman, D.E. 2008. A Conjugated Linoleic Acid Supplement Containing *Trans*-10, *Cis*-12 Conjugated Linoleic Acid Reduces Milk Fat Synthesis in Lactating Goats. *J. Dairy Sci.*, 91: 3291-3299.
- Loor, J.J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M., Chilliard, Y. 2002. Conjugated linoleic acids (CLA), *trans* fatty acids, and lipid content in milk from Holstein cows fed a high- or low-fiber diet with two levels of linseed oil. *J. Dairy Sci.* 85(Suppl. 1): 1188 (Abstr.).
- Loor, J.J., Ueda, K., Ferlay, A., Chilliard, Y., Doreau, M. 2004. Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of trans fatty acids and conjugated linoleic acids (CLA) in response to dietary forage: concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 2472-2485.
- Loor, J.L. 2001. *Alteration in mamary gland synthesis and secretion of fatty acids in response to trans isomers of octaecenoic acid or conjugated linoleic acid isomers*. Dissertación of tesis doctoral. Blacksburg. Virginia.
- Luquet, F.M., Bonjean-Linczowski, Y. 1991. *Leche y productos lácteos. Vaca-oveja-cabra*. Volumen 1: La leche. De la mama a la lechería. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza.

M

- MacDonald, P., Edwaeds, R., Greenhalgh, J., Morgan, C. 1999. *Nutrición Animal*. 5^a Edición Acribia. Zaragoza, España. 576 pp.
- Malher, X., Vrayla-Anesti, F. 1994. An evaluation of milk yield and milking ability in French Rouge de l'Ouest ewes. *Small. Ruminant. Research*. 13: 1-8.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). 2006. *El sector lácteo en España*. <http://www.mapa.es/ganaderia/pags.html>. Consultado en 25-06-2006.
- Marzialli A.S., Ng-Kwai-Hang K.F. 1986. Relationships between milk protein polymorphisms and cheese yielding capacity. *J. Dairy Sci.*, 69: 1191.

- Mata, P., Alvarez, S., Rubio, L.A., Nuno, M.J., Oya, J. 2004. Effects of long-term monounsaturated-vs polyunsaturated-enriched diets on lipoproteins in healthy. *Am. J. Clin. Nutr.*, 55: 846-850
- Mata, P., Alonso, R., Mata, N. 2002. *Los ómega-3 y ómega-9 en la enfermedad cardiovascular. Libro blanco de los ómega-3*, 5: 50-63. Ed. Puleva Food. Granada.
- Mataix, J. 2002. *Libro blanco de los omega-3*. Ed. Puleva Food. Granada.
- Mataix, J., Gil, A. 2004. *Libro blanco de los omega 3- Los ácidos grasos poliinsaturados omega 3 y monoinsaturados tipo oleico y su papel en la salud*. Instituto omega 3. 153 pp.
- Mavrogenis, A.P. 1982. Environmental and genetic factors influencing milk production and lamb output of Chios sheep. *Livest. Prod. Sci.*, 8: 519-527.
- McNamara, J.P. 1995. Role and Regulation of Adipose Tissue Metabolism During Lactation. *J. Nutr. Bioc.*, 6: 120-129.
- Mele, M., Dal Zotto, R., Cassandro, M., Conte, G., Serra, A., Buccioni, A., Bittante, G., Secchiari, P. 2009. Genetic parameters for conjugated linoleic acid, selected milk fatty acids, and milk fatty acid unsaturation of Italian Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.*, 92: 392-400.
- Merino, E. 2002. *La raza Churra*. Catálogo de razas autóctonas de Castilla y León – Región norte de Portugal. II Especies ovina, caprina, porcina, perros de ganado y gallinas. Serie monografías y estudios. Fundación rei Afonso Henriques. 51-64 pp.
- Mesa, M. D., G.M. Aguilera and A. Gil. 2007. Efectos saludables de los lípidos en la dieta. *Alimentación, Nutrición y Salud 14 (1)*: 12-26
- Meyer, K., Hammond, K., Pamell, P.F. 1985. Estimates of heritability and repeatability for reproductive traits in Australian beef cattle. *Livestck. Prod. Sci.*, 25(1):15-30.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2007. *Anuario de Estadística Agraria de España*.
- Molina, A., Martínez, F.C., Pérez, V.H., Martínez, G. L. 1999. Effect of conditions and milking parameters on productio fractioning and compositon of milk, and health status of uddersin Manchega ewes. *Arch. Zootec*, 48: 135-146.
- Monsón, F. D., 2001. *Suplementación con lípidos en bovinos de carne: Metabolismo, efectos sobre la calidad de la canal, de la carne y sobre la salud humana*. Tesis de Doctorado, Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza, España, 52 pp.
- Moore, J.H., Christie, W.W. 1981. Lipid metabolism in the mammary gland of ruminant animals. *En: Lipid Metabolism in Ruminant Animals*. Ed: W. W. Christie, Pergamon Press, Oxford, UK. 227-278 pp.

- Morag, M. 1968. The effect of varying the daily frequency on the milk yield of the ewe and evidence on the nature of the inhibition of milk ejection by hlf-udder milking. *Ann. Zootech (Paris): 17*: 351-369.
- Morales, S., Sol, M. 1999. Factores que afectan la composición de la leche. *Tecno Vet, Año 5, n.º1*. In: http://www.tecnovet.uchile.cl/cda/tecnovet_articulo/0,1409_sCDI%253D9670%2526ISID%253D459,00.html. Consultado en 27/06/2007.
- Morand-Fehr, P., Tran, G. 2001. La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. I.N.R.A. *Prod. Anim. 14*: 285-302.
- Mosley, E.E., Powell, G., Riley, M., Jenkins, T.C. 2002. Microbial biohydrogenation of oleic acid to trans isomers in vitro. *J. Lipid Res. 43*: 290–296.
- Murray, R.K., Mayes, P.A., Granner, D.K., Rodwell, V.W. 2001. *Bioquímica de Harper*. Ed. El Manual Moderno. Santafé de Bogotá.

N

- Nassif-Hadad, A., Meriño-Ibarra, E. 2003. Ácidos grasos omega-3: pescados de carne azul y concentrados de aceites de pescado. Lo bueno y lo malo. *Rev. Cubana Med 42 (2)*.
- Neville, N.C., Picciano, M.F. 1997. Regulation of milk secretion and composition. *Annual Review of Nutrition, 17*: 159-184.
- Ng-Kwai-Hang, F.K.; Hayes, J.F.; Moxley, J.E., Monardes, H.G. 1993 Environmental influences on protein content and composition of bovine milk. *Journal of Dairy Sci., 65(10)*:1993-1998.
- Noble, R.C., Steel W., Moore, J.H. 1970. The composition of ewes milk fat during early and late lactation. *J. Dairy Research. 37*: 297-301.
- Noble, R.C. 1981. Lipid metabolism in the neonatal ruminant. In: Christie WW (ed) En: *Lipid Metabolism in Ruminant Animals*. Pergamon Press, Oxford, 411-448 pp.
- Nollet, L.M.L. 1996. *Physical characterization and Nutrient Analysis*. Hanbook of Food Analysis. Volumen 1. Marcel Dekker, Inc.1051 pp.
- Nudda, A., Battacone, G., Usai, M.G., Fancellu, S., Pulina, G. 2006. Supplementation with Extruded Linseed Cake Affects Concentrations of Conjugated Linoleic Acid and Vaccenic Acid in Goat Milk. *J. Dairy Sci., 89*: 277-282.
- Nudda, A., McGuire, A.M., Battacone, G.y Pulina, G. 2005. Seasonal variation in conjugated linoleic acid and vaccenic acid in milk fat of sheep and its transfer to cheese and Ricotta. *J. Dairy Sci., 88*: 1311-1319.
- Nuñez M., Medina M., Gaya P., 1989. Ewes milk cheese: technology, microbiology and chemistry. *J. Dairy Res., 56*: 303.

O

- O'Brien, B., Murphy, J., Connolly, J., Mehra, R., Guinee, T., Stakelum, G. 1997. Effect of altering the daily herbage allowance in mid lactation on the composition and processing characteristics of bovine milk. *J. Dairy Res.*, 64: 621-626.
- O'Shea, M., Lawless, F., Stanton, C., Devery, R. 1998. Conjugated linoleic acid in bovine milk fat: a food-based approach to cancer chemoprevention. *Food Science & Technology*, 9: 192-196.
- Offer, N.W., Marsden, M., Phipps, R.H. 2001. Effect of oil supplementation of a diet containing a high concentration of starch on levels of *trans* fatty acids and conjugated linoleic acids in bovine milk, *Anim. Sci.*, 73: 533-540.
- Ortega, R.M. 2002. *Importancia de las grasas en la alimentación*. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. Madrid. Instituto Flora. 11 pp.
- Othmane, M.H. 2000. *Parámetros genéticos de la composición de la leche de oveja y del rendimiento quesero en laboratorio*. Tesis Doctoral. Universidad de León. Facultad de Veterinaria. España.
- Othmane, M.H., De La Fuente, L.F., Carriedo, J.A., San Primitivo, F. 2002c. Heritability and genetic correlations of test day milk yield and composition, individual laboratory cheese yield, and somatic cell count for dairy ewes. *J. Dairy Sci.*, 85: 2692-2698.
- Othmane, M.H., Carriedo, J.A., De La Fuente, L.F., San Primitivo, F. 2002b. Factors affecting test-day milk composition in dairy ewes, and relationships amongst various milk components. *J. Dairy Res.*, 69: 53-62.
- Othmane, M.H., Carriedo, J.A., San Primitivo, F., De La Fuente, L.F. 2002a. Genetic Parameters for lactation traits of milking ewes: protein content and composition, fat, somatic cells and individual laboratory cheese yield. *Genetics Selection Evolution*, 34:581-596.

P

- Palacios, C; Martín, S; Abecia, J.A; Forcada, F; Valares, J.A; Palacin, L; Deletang, G, F., Martino. A. 2005. Influencia de la intensificación reproductiva en las producciones cordero y leche por oveja obtenidas en rebaños Assaf. *XXIX Jornadas SEOC*. 117-119.
- Palmquist D.L, Beaulieu A.D., Barbano, DM. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.*, 76: 1753-71.
- Palmquist, D.L., Jenkins, T.C. 1980. Fat in lactation rations: Review. *J. Dairy Sci.* 63: 1-14.
- Pariza, M.W.; Ashoor, S.H.; Chu, F.S., Lund, D.B. 1979. Effects of temperatura and time on mutagen formation in pan-fried hamburguer. *Cancer Letters* 7: 63-69.

- Pariza, M.V, Hargraves, W.A. 1985. A beef-derived mutagenesis modulator inhibits initiation of mouse epidermal tumors by 7, 12-dimethylben[a]anthracene. *Carcinogenesis* 6: 591-593.
- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, M.E. 2000. Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. *Society for Experimental Biology and Medicine*, 223: 8-13.
- Pariza, M.W., Park, Y., Cook, M.E. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog. Lipid Res.*, 40: 283-298.
- Parodi, P. 2003. Conjugated linoleic acid in food. In j. Sebedio, Christie, W.W., Adolfr, r. (ed). *Advances in conjugated linoleic acid research. Vol.2*, 101-121 pp. AOCS. Press, Champaign, IL.
- Parodi, P.W., 1997. Cow's milk fat component as potential anticarcinogenic agents. *Journal Nutrition*, 1055-1060.
- Parodi, P.W. 1999. Symposium: a bold new look at milk fat, conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J. Dairy Sci.*, 82: 1339-1349.
- Partidário, A.M., 1998. *Queijo Serra da Estrela: avaliação de características químicas e sensoriais – Estudo da fracção lipídica*. Tesis Doctoral. Departamento de Biotecnologia, Universidad Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 189 pp.
- Peeters, R.; Buys, N.; Rubijns, L.; Vanmontford, D., Van Isterdael, J. 1992. Milk yield and milk composition of Friesian milk sheep, Suffolk and Texel ewes and their crossbreds. *Small Ruminant Research*, 7: 279-288.
- Pellegrini O., 1995. *Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques du lait de brebis et ses aptitudes fromagères*. Thèse de Doctor Ingénieur, INA Paris Grignon - Francia.
- Pellegrini, O., Arel, M.R., Lagriffoul, G., Marie C., Remeuf, F., Rivemale, M., Barillet, F. 1996. Relations entre les comptages de cellules somatiques, les caractéristiques physico-chimiques et l'aptitude à la coagulation par le présure de laits individuels de brebis de race Lacaune. In: *Somatic cells and milk small ruminants*. Wageningen Pers, Wageningen, *The Netherlands*: 253-258.
- Peterson, D.G., Kelsey, J.A., Bauman, D.E. 2002. Analysis of variation in cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 85: 2164-2172.
- Piperova, L.S., Moallem, U., Teter, B.B., Sampugna, J., Yurawecz, M.P., Morehouse, K.M., Luchini, D., Erdman, R.A. 2004. Changes in milk fat in response to dietary supplementation with calcium salts of *Trans*-18:1 or conjugated linoleic fatty acids in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87: 3836-3844.
- Piperova, L.S., Sampugna, J., Teter, B.B. Kalscheur, K.F., Yurawecz, M.P., Ku, Y., Morehouse, K.M., Erdman, R.A. 2002. Duodenal and milk trans octadecenoic acid

and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis in the predominant source of cis-9-containing CLA in lactating dairy cows. *J. Nutr.*, 132: 1235-1241.

Piva, G., Fusconi, G., Prandini, A., Capri, E. 1993. Fatty acid composition of milk fat: variability in dairy herds different management. *Sci. tecn. Lattiero-Casearia o scienza e tecnica Lattiero Casearia*, 44 (5): 309-323.

Portolano, B., Montalbano, L., Militi, W. 2001. Genetic and environmental sources of variation for milk yield traits in *Barbaresca siciliana* breed. *Small Rumin. Res.* 41: 195-202.

Poutous, M., Decaen, C. 1965. Phase ascendante de la courbe de lactation chez la vache laitière. Étude préliminaire. *Ann. Zootech.*, 14 (2): 135-143.

Prandini, A., Geromin, D., Conti, F., Masoero, F., Piva, A., Piva, G., 2001. Survey on the level of conjugated linoleic acid in dairy products. *Italian Journal of Food Science* 13: 243-253.

Prates, J.A., Mateus, M.R.P. C. 2002. Physiologically active components from animal food sources. *RPCV*, 97 (541): 3-12

Precht, D., Molkenin, J. 2000. Frequency distribution of conjugated linoleic acid and trans fatty acids contents in European bovine milk fats. *Milchwissenschaft*, 55: 687-691.

R

Ramón, M., Fernández-Perea, M.T., Pérez-Guzmán, M.D., Sánchez, P.J., Serrano, M. 2006. Parámetros genéticos de los caracteres lecheros en la raza ovina Manchega. *ITEA*. 102 (2): 115-121.

Ravagnolo, O., Rovere, G., Aguilar, A., La Buonora, D. 2006. Evaluación genética nacional para componentes de la leche. *VIII. Congreso Panamericano de la leche*. FEPALE.

Remeuf F., 1993. Influence du polymorphisme génétique de la caséine $\alpha s1$ caprine sur les caractéristiques physico-chimiques et technologiques du lait. *Lait*, 73: 549-557.

Renner, E., Kosmack, U. 1974. Genetische Aspekte zur Fettsäurezusammensetzung des Milchfettes. 2. Fettsäuremuster der Milch von *Nachkommenpopulationen*. *Zuechtungskunde*, 46: 217-226.

Requena, J.R., Fu, M.X., Ahmed, M.U., Jenkins, A.J., Lyons, T.J., Baynes, J.W., and Thorpes, S.R. 1997. Quantification of malondialdehyde and 4-hydroxynonenal adducts to lysine residues in native and oxidized human low-density lipoprotein. *Biochem. J.*, 322: 317-325.

Ricordeau G., Flamant J.C., 1969. Croisement entre les races ovines Préalpes du Sur et Frisonne. III. Performance laitières. *Ann. Zootech.*, 18 (2): 151-168.

- Rodríguez, R.C. 2005. *El sector lácteo Español*. en España. Seminario de la Asociación Española de Economía Agraria. Universidad de Santiago de Compostela. En: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=6795>. Consultado en 15-08-2006.
- Royal, M.D., Garnsworthy, P.C. 2005. Estimation of genetic variation in α -9 desaturase enzyme activity in dairy cows. In: Proceedings of the *British Society of Animal Science*, York, UK: British Society of animal Science, 52 pp.
- Ruxton, C.H.S., Reed, S.C., Simpson, Milington, M.A. 2004. The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence. *J. Hum.Nutr. Dietet*, 17: 449-459.

S

- San Primitivo F. El-Saied U.M., Carriedo J.A., 1998. Concentración de células somáticas en la leche de oveja y resistencia a la mamitis: nuevos objetivos de selección. *IX Reunión Nacional de Mejora Genética Animal*. Arkaute, España.
- San Primitivo, F, De La Fuente, L.F. 2000. Situación actual de la oveja de raza Churra. *Arch. Zootec.*, 49: 161-165.
- Sanna, S.R., Carta, A., Casu, S. 1997. (Co)variance component estimates for milk composition traits in Sarda dairy sheep using a bivariate animal model. *Small Rum. Res.*, 25: 77-82.
- Santamaria, M.C. 2002. *Análisis de ácidos grasos de leche de oveja en Castilla y León. Influencia de los meses del año, de la situación geográfica, de la alimentación y de la raza*. Tesis doctoral. Departamento de Química, Facultad de ciencias, Analítica Universidad de Valladolid. 203 pp.
- Sariego, H.G., 2001. *Importancia de los ácidos grasos omega-3 y omega-6 para la salud*. Fundación R. Knop. Zaragoza (España). 1-3 pp.
- Sauvant, D., Bas, P. 2001. La digestion des lipides chez le ruminant. *INRA Prod. Anim.*, 5(14): 303-310.
- Seager, L.S., Slabough, M. 2000. *Chemistry for today - General, Organic and Biochemistry*. 4th Ed., Brooks Cole, United States of America, 1070 pp.
- Seegers H., Girmard-Ballif B., 1994. Amélioration génétique de la composition en matières utiles du lait d'un troupeau. *Rec. Méd. Vét.*, 170: 391.
- Serrano, M., Perez-Guzman, M.D., Montoro, V., Jurado, J.J. 2002. Genetic analysis of udder traits in Manchega ewes. *Livestock Production Science*, 77: 355-361.
- Serrano, M., Pérez-Guzmán, M.D., Montoso, V., Jurado, J.J. 2003. Genetic analysis of somatic cell count and milk traits in Manchega ewes: Mean lactation and test-day approaches. *Livestock Production Science*, 84: 1-10.

- Serrano, M., Ugarte, E., Jurado, J.J., Perez-Guzman, M.D., Legarra, A. 2001. Test day models and genetic parameters in Latxa and Manchega dairy ewes. *Livestock Production Science*, 67: 253–264.
- Sevilla, F.J.M. 2005. *Estructura y función de los lípidos: grasas animales, vegetales y marinas, ácidos grasos poliinsaturados y ω -3, mono y diglicéridos, colesterol, pigmentos y aromas*. Ampliación de Tecnología de los Alimentos. Departamento de Ingeniería Química. Tema 4. 37 pp.
- Shantha, N.C, Ram, L.N, O'Leary, J.; Hicks, C.L., Decker, E.A. 1995. Conjugated linoleic acid concentrations in dairy products as affected by processing and storage. *Journal of Food Science*, 60: 695-697.
- Schennink, A.; J.M.L. Heck, H. Bovenhuis, M.H.P. W. Visker, H.J.F. van Valenberg,, Van Arendonk, J.A.M. 2008. Milk Fatty Acid Unsaturation: Genetic Parameters and Effects of Stearoyl-CoA Desaturase (*SCD1*) and Acyl CoA: Diacylglycerol Acyltransferase 1 (*DGAT1*). *J. Dairy Sci.*, 91: 2135-2143.
- Schmidt, G.H. 1971. *Biology of lactation*. San Francisco: W.H. Freeman, 317 pp.
- Signorelli, F., Contarini, G., Annicchiarico, G., Napolitano, F., Orrù, L., Catillo, G., Haenlein, G.F.W., Moiola, B. 2008. Breed differences in sheep milk acid profiles: Opportunities for sustainable use of animal genetic resources. *Small Ruminant Research*, 78: 24-31.
- Simopoulos A, Leaf A., Salem N. 1999. Essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *Ann Nutr Metab*, 43: 127-130.
- Simopoulos, A.P. 2003. Importance of ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids: evolutionary aspects. *World Rev. Nutr. Diet.*, 92: 1-22.
- Soyeurt, H., Dardenne, P., Gillon, A., Croquet, C., Vanderick, S., Mayeres, Bertozzi, C., Gengler, N. 2006a. Variation in fatty acid contents of milk and milk fat within and across breeds. *J. Dairy Sci.*, 89: 4858-4865.
- Soyeurt, H., Dardenne, P., Dehareng, F., Lognay, G. Veselko, D., Marlier, C., Bertozzi, C., Mayeres, P., Gengler, N. 2006b. Estimating fatty acid content in cow milk using mid-infrared spectrometry. *J. Dairy Sci.*, 89: 3690-3695.
- Soyeurt, H., Gillon, A., Vanderick, S., Mayeres, P., Bertozzi, C., Gengler, N. 2007. Estimation of heritability and genetic correlations for the major fatty acids in ovine milk. *J. Dairy Sci.*, 90: 4435-4442.
- Stanton T.L., Jones L.R., Everett R.W., Kachman S D. 1992. Estimating milk, fat and protein lactation curves with a test day model. *J. Dairy Sci.*, 75: 1691-1700.
- Steinhart, C. 1996. Conjugated linoleic acid—The good news about animal fat, *Journal of chemical education*, 73: 302A.
- Stoop, W.M., Van Arendonk. J.A.M., Heck, J.M.L., Van Valenberg, H.J.F., Bovenhuis, H. 2008. Genetic parameters for major milk fatty acids and milk production traits of Dutch Holstein-Friesians. *J. Dairy Sci.*, 91: 385-394.

- Suárez, V.H., Phd, M.V., Buseti, M. R. 2004. *Lechería Ovina y Productividad de la Raza Pampita*. INTA. Ridavia 1439, Buenos Aires, Argentina.
- Sutton, J.D. 1989. Altering milk composition by feeding. *J. Dairy Sci.*, 72: 2801-2814.
- Sutton, J.D., Morant, S.V. 1989. A review of the potential of nutrition to modify milk fat and protein. *Livestock Production Science*, 23: 219-237.
- Syrstad, O., Stadal, N., Karijord, O. 1981. Sources of variation in composition of milk fat. Paper 32nd Annual meeting, European Association for Animal Production G IV-7. 6 pp.

T

- Talpur, F.N., Bhangar, M.I., Memon, N.N. 2008. Milk fatty acid composition of indigenous goat, ewe breeds from Sindh, Pakistan, *Journal of Food Composition and Analysis*, doi:10.1016/j.jfca.2008.09.005.
- Tanaka, K. 2005. Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminants products and its physiological functions. *Anim. Sci. J.*, 76: 291-303.
- Taverna, M. 2002. *La calidad: ¿por qué y para qué?*. En: *Manual de referencia para el logro de leche de calidad*. INTA Rafaela, 1^o Edición, 7-13.
- Taverna, M., Charlón, V., Cuatrín, A., Gaggiotti, M., Páez, R., Chávez, M. 2001. Composición química de la leche producida en la Cuenca Lechera Central de la Argentina. *Arg. Prod. Anim.*, 21 (1): 271.
- Toullec, R., Lallès, J.P. 1995. *Digestion dans la caillette et l'intestin grêle*. Pages 527-581 in *Nutrition des ruminants domestiques: ingestion et digestion*; R. Jarrige, Y. Ruckebush, C. Demarquilly, M. H. Farce, and M. Journet, ed. INRA, Paris, France.
- Towne, G., Nagaraja, T.G., Brandt J.R. 1990. Ruminal ciliated protozoa in cattle fed finishing diets with or without fat. *J. Anim. Sci.*, 68 (7): 2150-2155.

U

- Ugarte, E., Legarra, A. 2003. Scientific background of the selection program in the Latxa breed. En Gabiña, D., Sanna, S. (Ed), *Breeding programmes for improving the quality and safety of products. New traits, tools, rules and organization*. CIHEAM-IAMZ (Options Méditerranées: Série A. Séminaires Méditerranéens; n.º 55).
- Ugarte, E., Serrano, M., De La Fuente, L.F., Pérez-Guzmán, M.D., Alfonso, L. Y Gutiérrez, J.P. 2003. Situación actual de los programas de mejora genética en ovino de leche. En Gabiña, D., Sana, S. (Ed), *Breeding programmes for improving the quality and safety of products. New traits, tools, rules and organization*. CIHEAM-IAMZ (Options Méditerranées: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 55).

Ugarte E, Serrano M, De La Fuente L.F, Pérez-Guzmán M.D, Alfonso L., Gutiérrez J.P. 2004. Situación actual de los programas de mejora genética en ovino de leche. *ITEA 98*: 102-117.

V

Velasco, S., Cañeque, V., Díaz, M.T., Pérez, C., Lauzurica, S., Huidobro, F., Manzanares, C. E González, J. 2001. Producción lechera y composición lipídica de la leche de ovejas Talaveranas durante el período de lactancia. *Investigación Agraria: Producción e Sanidad Animal.*, 16 (1): 181-192.

W

Wachira A.M, Sinclair L.A, Wilkinson R.G, Hallett K, Enser M, Wood J.D. 2000. Rumen biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids and their effects on microbial efficiency and nutrient digestibility in sheep. *J. Agric. Sci.* 135: 419-428.

White, S.L., Bertrand, J.A., Wade, M.R., Washburn, S.P., Green, J.T., Jenkins, T.C. 2001. Comparison of fatty acid content in milk from Jersey and Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.*, 84: 2295-2301.

Wohlt, J.E., Kleyn, D.H., Vanderwoot, G.W., Selfridge, D.J., Novotrey, C.A. 1981. Effect os stage of lactation, age of sheep, sibling statua and sex of lamb on gross and minor constituents of Dorset ewe milk. *J. Dairy Sci.*, 64: 2175-2184.

Wu Z, Ohajuruka O.A, Palmquist D.L. 1991. Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74: 3025-3034.

Y

Yadav, S.B.S, Yadav, A.S, Yadav B.L., Yadav, M.S. 1989. Factors affecting fat percentage in crossbred dairy cattle. *Indian. J. Dairy Sci.*, 42(3): 475-481.

Yurawecz, M.P., Roach, J.A., Sehat, N., Mossoba, M.M., Kramer, J.K., Fristsche, J., Steinhart, H., Ku, K. 2001. A new conjugated linoleic acid isomers, 7 trans, 9 cis-octadecadienoic acid, in cow milk, cheese, beef and human milk and adipose tissue. *Lipids*; 33: 803-809.

Z

Zhang, R.H., Mustafa, A.F., Ng-Kwai-Hang, K.F., Zhao, X. 2005. Effects of freezing on composition and fatty acids profiles of sheep milk cheese. *Small Rum. Res.*, 85: 1-8.

Zlatanov, S., Laskaridis, K., Feist, C., Sagredos, A. 2002. CLA content and fatty acid composition of Greek Feta and hard cheeses. *Food Chemistry*, 78: 471-477.