

Universidad Pública de Navarra

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**EFEECTO DE LA ALIMENTACIÓN EN EL PERFIL AROMÁTICO DE LA
CARNE COCINADA DE CORDERO DE LA RAZA NAVARRA**

presentado por

MARTA RUIZ DARBONNENS

aurkeztua

**INGENIERO AGRÓNOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA**

Julio, 2012

ÍNDICE



ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE TABLAS Y GAFICOS.....	5
RESUMEN.....	9
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	11
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	13
2.1. Raza Navarra.....	13
2.1.1. La denominación.....	13
2.1.2. Origen.....	13
2.1.3. Sistemas de Explotación.....	14
2.1.4. Distribución y censos.....	15
2.2. Calidad de la carne de cordero.....	16
2.2.1. Factores que influyen en la calidad de la carne de cordero.....	17
2.2.1.1. Factores intrínsecos.....	17
2.2.1.1.1. Tipo de músculo	
2.2.1.1.2. Raza	
2.2.1.1.3. Sexo	
2.2.1.1.4. Peso	
2.2.1.1.5. Edad	
2.2.1.2. Factores extrínsecos.....	25
2.2.1.2.1. Alimentación	
2.2.1.2.2. Época del año	
2.2.1.2.3. Estrés	
2.2.2. Parámetros que determinan la calidad de la carne.....	28
2.2.2.1. pH.....	28
2.2.2.2. Capacidad de retención de agua y pérdidas por cocción...30	
2.2.2.3. Colágeno.....	32
2.2.2.4. Calidad sensorial de la carne de cordero.....	35
2.2.2.4.1. Color	
2.2.2.4.2. Textura	
2.2.2.4.3. Flavor	
2.3. Calidad de la grasa de cordero.....	40
2.3.1. Parámetros que definen la calidad de la grasa.....	45
2.3.1.1. Composición química de la grasa animal.....	45
2.3.1.2. Color de la grasa.....	50

2.3.2. Factores que afectan a la calidad de la grasa.....	51
2.3.2.1. Factores intrínsecos.....	51
2.3.2.1.1. Edad y peso	
2.3.2.1.2. Sexo	
2.3.2.1.3. Raza	
2.3.2.1.4. Especie	
2.3.2.1.5. Posición anatómica	
2.3.2.2. Factores extrínsecos.....	57
2.3.2.2.1. Alimentación.	
2.4. Perfil aromático y atributos sensoriales de la carne de cordero.....	60
2.4.1. Influencia de la dieta en el perfil aromático de la carne de cordero alimentados con diferentes dietas.....	60
2.4.2. Naturaleza química de los principales compuestos responsables del perfil aromático.....	63
2.4.3. Compuestos volátiles responsables del perfil aromático de la carne de cordero.....	65
2.4.4. Métodos instrumentales de medida de los compuestos volátiles y aromáticos de la carne.....	40
2.4.5. Atributos sensoriales de la carne de cordero.....	75
3. <u>OBJETIVOS</u>	78
4. <u>MATERIAL Y MÉTODOS</u>	80
4.1. Material.....	81
4.1.1. Material animal.....	81
4.1.1.1. Material animal y alimentación.....	81
4.1.1.2. Sacrificio.....	81
4.1.1.3. Tratamiento, maduración de las muestras y envasado.....	82
4.1.2. Preparación culinaria de las muestras.....	82
4.1.3. Análisis instrumental.....	82
4.1.3.1. Extracción de los compuestos volátiles.....	82
4.1.3.2. Separación y cuantificación de los compuestos volátiles..	83
4.1.3.3. Identificación de los compuestos volátiles.....	83

4.2. Análisis sensorial.....	84
4.3. Análisis estadístico.....	85
4.3.1. Análisis de la varianza.....	85
4.3.1.1. Modelo para el tratamiento de los datos para el análisis instrumental.....	85
4.3.2. Análisis de correlación.....	85
5. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	86
5.1. Perfil de compuestos volátiles en la carne de cordero con diferentes dietas...	87
5.2. Efecto de la dieta en el perfil de compuestos volátiles.....	102
5.3. Análisis de correlación entre las variables de los compuestos volátiles.....	105
5.4. Análisis de correlación entre los compuestos volátiles y los atributos sensoriales.....	109
6. <u>CONCLUSIONES</u>	116
7. <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	118

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS



ÍNDICE DE TABLAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 2.1. Efecto de las dietas sobre el flavor de la carne de cordero.....	61
Tabla 2.2. Compuestos volátiles que determinan el perfil aromático de la carne de cordero.....	69
Tabla 2.3. Atributos sensoriales de la carne de cordero.....	76
Tabla 2.4. Relación de compuestos volátiles con su olor característico.....	77

MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 4.1. Composición el materias primas y composición de los diferentes piensos utilizados durante el cebo de los corderos (Control: pienso comercial; Lino: enriquecido con 10% de semilla de lino; Chía: enriquecido con 10% de semilla de chía).....	81
Tabla 4.2. Variables sensoriales ¹ evaluadas por un panel de consumidores en carne de cordero en función del tipo de concentrado ingerido (Control: pienso comercial; Lino: enriquecido con 10% de semilla de lino; Chía: enriquecido con 10% de semilla de chía).....	84

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 5.1. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra y su frecuencia de aparición.....	88
Tabla 5.2. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra.....	92
Tabla 5.3. Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra.....	94

Tabla 5.4. Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra, para los tres tipos de alimentación.....	95
Tabla 5.5, 5.6, 5.7. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra.....	97
Tabla 5.8. Niveles de significación estadísticos para el factor alimentación en los compuestos volátiles detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra.....	103
Tabla 5.9. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra.....	106
Tabla 5.10. Coeficientes de correlación de Pearson entre los atributos sensoriales analizados en panel de cata.....	110
Tabla 5.11. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental y los atributos sensoriales, en muestras de carne del músculo <i>longissimus dorsi</i> de corderos de Raza Navarra.....	111

ÍNDICE DE GRÁFICOS

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gráfico 5.1. Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra.....**94**

Gráfico 5.2. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra.....**95**

Gráfico 5.3, 5.4, y 5.5. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra, para los tres tipos de alimentación.....**98**

Gráfico 5.6. Gráfico de Componentes Principales en espacio rotado de compuestos volátiles y atributos sensoriales que han mostrado correlación entre ellos.....**114**

RESUMEN

La finalidad de este Trabajo Fin de Carrera ha sido caracterizar la fracción aromática de la carne de corderos de Raza Navarra. Además se ha estudiado el efecto de la alimentación, al analizar muestras de corderos alimentados con tres dietas: control, lino y chía.

Para este Trabajo se empleó el músculo *longissimus dorsi* del lomo izquierdo de 33 corderos machos de raza Navarra procedentes del rebaño experimental que el ITG Ganadero tiene en la finca "El Serrón" en Valtierra (Navarra). Los corderos fueron distribuidos durante el cebo en tres grupos según el alimento recibido: Lote Control (pienso concentrado comercial; n=11); Lote Lino (pienso enriquecido con un 10% de semilla de lino; n=11); Lote Chía (pienso enriquecido con un 10% de semilla de chía; n=11).

Por lo que respecta a la metodología de trabajo, se realizó la extracción de los compuestos volátiles mediante la técnica de espacio de cabeza dinámico en un concentrador de muestras de purga y trampa. La separación e identificación de los compuestos volátiles se realizó por cromatografía gaseosa capilar acoplada a un espectrómetro de masas. Se realizaron dos repeticiones de cada muestra de cordero.

Para el análisis instrumental las muestras fueron descongeladas 24 horas antes de su análisis y posteriormente se picaron y se analizaron.

El perfil de compuestos volátiles obtenido se ha relacionado con el análisis sensorial realizado por un panel de consumidores.

Fueron identificados un total de 35 compuestos volátiles correspondientes a las siguientes familias: Hidrocarburos Alifáticos, Aldehídos Alifáticos, Cetonas Alifáticas, Hidrocarburos Alifáticos, Compuestos Alifáticos, Compuestos Azufrados, Alcoholes Alifáticos, Furanos y Terpenoides. Los compuestos volátiles que mayor presencia tuvieron fueron: la 2-propanona (PRA 25.56%), hexanal (PRA 12.04%), etanol (PRA 7.52%) nonanal (PRA 7.33%) y octanal (PRA 5.67%)

Entre los resultados obtenidos cabe destacar que sí se dieron diferencias tanto en el perfil de compuestos volátiles como en los atributos sensoriales.

En el perfil de los compuestos volátiles se obtuvieron diferencias debidas al efecto de la alimentación. Los compuestos volátiles que presentaron un efecto significativo fueron: 2,2,4,6,6-pentametilheptano, etanal, isobutanal, butanal, pentanal, heptanal, octanal, todos los Compuestos Azufrados, etanol, 1-octen-3-ol, 2-pentilfurano y limoneno. Los compuestos volátiles más característicos para la dieta control fueron etanal, tiourea y 2,2,4,6,6-pentametilheptano que inducen malos olores y sabores mostrando una correlación negativa con los atributos sensoriales, mientras que para chía fueron el carbono disulfuro (correlacionado positivamente con estos atributos) y la ausencia o baja presencia de los compuestos anteriores.

Con respecto a los atributos sensoriales, cabe destacar el gran número de correlaciones presentes de la mayoría de los compuestos volátiles con el olor y el sabor como atributos sensoriales. La ausencia de compuestos en chía como tiourea y 2,2,4,6,6-pentametilheptano corrobora lo obtenido en el panel de consumidores.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la Raza Navarra y la Latxa, son las dos razas ovinas, mayoritariamente explotadas en la Comunidad Foral de Navarra. Históricamente la Raza Latxa se ha producido en la Zona de la Montaña Navarra, mientras que la Raza Navarra se ha establecido en la Zona Media y Ribera. Se estima que dos terceras partes del total se corresponden a Raza Navarra mientras que el resto el Latxa.

En la Comunidad Foral de Navarra desde hace mucho tiempo se lleva explotando ovejas de Raza Navarra y Raza Latxa, debido a su buena triple actitud lanar-carne-leche. Pero, debido a la bajada de los precios de la lana, y después al bajo rendimiento económico derivado de la venta de leche de oveja, poco a poco fue desarrollándose para la producción de carne de cordero. Fue en 1997 cuando el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación reconociera la Raza Navarra, desde entonces se han dado pasos de gigante para su conservación y mejora.

Hoy en día la carne de cordero es muy apreciada tanto a nivel doméstico como a nivel gastronómico y es aquí donde representa una notable fuente de ingresos para los criadores. Actualmente, en Navarra los planes de mejora, buscan fundamentalmente una mayor producción de carne, aumentando la prolificidad. Hay que destacar, que el alto precio que hoy en día presenta esta carne en el mercado queda rápidamente depreciado conforme va aumentando la edad del animal.

Hoy en día no basta únicamente con ofrecer un producto de alta calidad. Se imponen criterios de mercado, y tal vez por ello, se ha creado y aprobado un reglamento, que a modo de Indicación Geográfica Protegida IGP, define el cordero de Navarra. Este reglamento fue ratificado bajo la Orden Foral de 4 de marzo (redactada en el BON nº48 de 19 abril 2002), y que se denominó como “Cordero de Navarra” o “Navafarroako Akumea”.

Es un proceso largo, antes de obtener la IGP, se deben realizar varios pasos. No basta con determinar el tipo de razas que incluye, sino reflejar las peculiaridades de cada una de ellas, incluir descripciones detalladas de los prototipos raciales, calificación, morfología, etc. Además, es preciso detallar registros genealógicos, ganaderías y las características del producto obtenido, es decir de la carne. Por tanto resulta de interés describir y determinar las características

organolépticas de esta carne, y mostrar particularidades de la misma. Para ello se deben realizar diferentes ensayos analíticos tanto cuantitativos como cualitativos.

Si bien la introducción de la IGP de calidad va a contribuir seguramente a una mejor y mayor comercialización de la carne de cordero, no son los únicos pasos que se están dando en la mejora de la calidad de esta carne. El mercado es dinámico y hoy en día existe una gran demanda de productos de alta calidad nutricional. En este sentido, se están buscando canales con menor estado de engrasamiento; el cual produce un cierto rechazo en los consumidores debido a su intenso sabor a ovino. Dietas con mayores aportes de Vitamina A (retinol), o ácido linoléico conjugado (CLA), o la inclusión de concentrados a base de pescados y algas, son estudios que se están realizando con el objetivo de reducir la cantidad de grasa y obtener canales de mayor aceptación entre los consumidores.

En este sentido, en el presente trabajo se va a estudiar el perfil aromático de la carne de cordero empleando análisis instrumentales y estadísticos, de esta manera se intentará describir el perfil característico de la carne de cordero de Raza Navarra.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Raza navarra

2.2.1. La denominación

Hasta hace no más de 10 años, eran pocos los que hablaban de la Raza Navarra como si de una propia raza ovina se tratara. Tan sólo algunos productores y técnicos se preguntaban si había motivos suficientes para considerarla como tal.

Fue a partir de Diciembre de 1997, cuando por parte del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (M.A.P.A.), se reconoce la Raza Navarra, tal y como aparece reflejado en el Real Decreto 7 11 1997, núm. 1692/1997 y siendo posteriormente formalizado con su publicación en el B.O.E, 21 11 97, núm. 279, en el cual se actualiza el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España.

Este decreto muestra la existencia de una raza autóctona en la Comunidad Foral que además responde al nombre de la región donde históricamente se ha desarrollado su explotación. A su vez sirve de base para la futura implantación y mejora de esta raza, con características propias y diferenciadas de otras razas.

2.2.2. Origen

Hasta hace pocos años era corriente clasificar a la Raza Navarra como el ecotipo roncalés de la raza Rasa Aragonesa, y en la mayoría de las clasificaciones existentes aparecía como Rasa Navarra.

Esta raza venía siendo explotada en la Comunidad Foral, debido a la proximidad entre ambas regiones, pero con el paso del tiempo se fue seleccionando una raza con diferencias morfológicas respecto de su antecesora.

Con el tiempo fue necesaria la implantación de una asociación, A.R.A.N.A. (Asociación de Criadores de Raza Navarra), que vela por la implantación y mejora de esta raza en la Comunidad Foral.

La Rasa Aragonesa y por lo tanto la Raza Navarra, según Sánchez Belda y Sánchez Trujillano (1986), tiene su ascendente directo en el *Ovis aries* celtibéricus, más conocido como Tronco Entrefino autóctono, colectivo totalmente independiente con genealogía propia. La génesis del Tronco Entrefino ancestral, se produce por la influencia de etnias mediterráneas sobre el ovino ibérico, descendiente del primigenio emigrado de Asia.

Antiguamente era una oveja de triple aptitud lana carne leche, pero con la depreciación de la lana y la aparición de razas lecheras más productoras, ha ido evolucionando hacia la producción de carne de cordero, siendo éste de tipo ligero y pequeño formato.

2.2.3. Sistemas de explotación

Los sistemas de explotación son muy variados y vienen condicionados por su gran dependencia respecto al medio en que se ubican (localización comarcal de la explotación, estructura de la propiedad de la tierra, cultivos que en ella se desarrollan, disponibilidad y acceso a pastos comunales, etc.). En general se diferencian tres sistemas (Rodríguez A., 2.004): semiextensivo, extensivo y mixto.

1) Semiextensivo: son explotaciones que tienen una determinada base territorial propia para la alimentación del ganado. Pastan sus recursos propios cuando hay oferta (generalmente prados y cultivos forrajeros y residuos de cultivos de cereal en seco), y estabulan en instalaciones propias y complementan cuando no hay pasto disponible, con producciones propias o compradas (cereal, alfalfa granulada y en rama, etc.). No pastan en terrenos comunales (corralizas, puertos, etc.). El tamaño de los rebaños es de unas 500 ovejas. El sistema reproductivo suele ser de 3 partos cada dos años.

2) Extensivo: son explotaciones que no tienen base territorial propia o que, si la tienen, es de muy recudida extensión. Por tanto, basan la alimentación de los rebaños en la utilización de pastos comunales (corralizas, puertos, etc.). Buscan la complementariedad de pastos en el espacio y en el tiempo para conseguir el alimento en el momento más adecuado y cubrir el máximo de necesidades de los rebaños durante el mayor tiempo posible, por aprovechamiento directo en pastoreo. Utilizan, por tanto, una amplia y muy variada gama de pastos, tanto naturales (herbáceos, arbustivos y arbóreos) como agrícolas (residuos de cosechas). Para ello, en algunos casos realizan desplazamientos transterminantes y trashumantes (estos últimos entre

el Pirineo y la Ribera (Bardenas Reales), de ésta a las Sierras de Urbasa y Andia, en algunos casos al Sistema Ibérico, etc.), para lo que utilizan la extensa red de vías pecuarias existentes en Navarra. No obstante, dada la limitada calidad de los recursos pascícolas que generalmente utilizan, es necesaria una cierta suplementación que suele realizarse en las instalaciones que disponen y que, generalmente, suelen ser arrendadas (y de escasa adecuación). El tamaño de los rebaños suele ser importante, con una media de unas 1.400 ovejas. El sistema reproductivo generalmente es de un parto al año.

3) Mixto: son explotaciones que tienen base territorial propia para cubrir parte de las necesidades de los rebaños, pero que también aprovechan pastos comunales (corralizas, puertos, etc.). Con el rebaño en producción (últimos meses de gestación, lactación) se utilizan los pastos próximos al entorno de las instalaciones ganaderas (prados y/o cultivos forrajeros) ó se alimenta a pesebre. Con el rebaño en periodo no productivo (estado fisiológico de mantenimiento), se aprovechan pastos naturales y residuos de cosechas. Se producen también movimientos trashumantes y transterminantes. El tamaño de los rebaños suele ser intermedio a los dos sistemas anteriores, del orden de 700 ovejas. Es frecuente el sistema de tres partos cada dos años.

2.2.4. Distribución

Es difícil determinar el número exacto de cabezas que actualmente representan la Raza Navarra en la Comunidad Foral. A la escasez de datos oficiales se une la variabilidad de la población debida a la desigual prolificidad anual. No obstante una de las maneras más fiables es sobre los datos que hacen referencia a las ovejas primadas.

Por lo que respecta al número de explotaciones es algo más fácil su determinación, ya que está sujeto a menor variabilidad.

En la actualidad la Raza Navarra es la mayormente explotada en la Comunidad Foral de Navarra, cuenta con 119.532 cabezas (ITG Ganadero 2010), y se extiende por casi todo el territorio Foral, excepto en el noroeste de la comunidad, donde predomina la Raza Latxa. Casi dos terceras partes del total son de Raza Navarra y del resto, la mayoría son de Raza Latxa.

2.2. Calidad de la carne de cordero

El término de calidad de carne es un concepto complejo y difícil de definir ya que puede tener distintas interpretaciones en función del eslabón de la cadena de comercialización en que el producto se encuentre: producción, procesado, distribución o consumo. Así por ejemplo, el estado de engrasamiento parámetro que mide el valor comercial de la canal, puede ser considerado referente de calidad para el ganadero, ya que es uno de los factores determinantes que reflejan el precio que un ganadero va a percibir en el momento del sacrificio de un animal (Albertí et al., 2005; Campo et al., 2005).

Profundizando en el tema de calidad, conviene señalar que el engrasamiento de la canal puede no estar relacionado con la calidad de la carne que percibe el consumidor. A éste le interesa disponer de información desde el punto de vista nutritivo, higiénico-sanitario, tecnológico y sensorial u organoléptico, para poder tomar ciertas decisiones en el momento de la compra (Beriain y Lizaso, 1998). A este respecto cabe señalar que la determinación de parámetros químicos (proteína, grasa, agua, etc.) es importante para establecer la calidad de la carne desde el punto de vista nutritivo, así como la proporción y el tipo de ácidos grasos -especialmente la proporción de ácidos grasos saturados- ya que suscita un especial interés por la repercusión negativa que tiene en la salud del consumidor (Keys, 1970; Jiménez- Colmenero et al., 2001). Además, parámetros como el pH, el color, la capacidad de retención de agua y la textura son parámetros que, tanto la industria como el consumidor, tienen en consideración a la hora de valorar un tipo de carne y que, por lo tanto, determinan la calidad de la misma.

La calidad de la carne puede ser considerada desde distintos puntos de vista:

-Calidad nutricional: Hace referencia a la contribución del alimento al aporte total de nutrientes a la dieta, tanto de un modo cualitativo como cuantitativo.

-Calidad sensorial: Viene determinado por aquellos atributos del alimento que son percibidos por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el oído y el tacto. Suele estar muy relacionada con su mayor o menor aceptabilidad.

-Calidad higiénico-sanitaria: Hace referencia a la ausencia tanto de sustancias potencialmente tóxicas como de microorganismos patógenos. También asegura que los recuentos

de su carga microbiana responden a los niveles de microorganismos, tanto alterantes como potencialmente patógenos, admitidos por la legislación alimentaria.

-Calidad tecnológica: Hace referencia a las características funcionales que permiten ser del alimento un agente apropiado para contribuir a determinadas cualidades necesarias para llevar a cabo sin problemas ciertos procesos tecnológicos.

-Calidad económica: Hace referencia a la relación que existe entre su costo de producción y el grado de aceptabilidad que consigue.

-Calidad estable: Hace referencia a la aptitud del alimento para no sufrir alteraciones inmediatas, lo que permite una vida comercial relativamente prolongada.

2.2.1. Factores que influyen en la calidad de la carne de cordero

2.2.1.1. Factores intrínsecos

2.2.1.1.1. Tipo de músculo

Las características anatómicas del músculo influyen, sobre todo en el pH final, ya que este varía en relación inversa al contenido en glucógeno en el momento del sacrificio, siendo la velocidad metabólica de degradación de este glucógeno diferente entre los músculos "rojos" y "blancos". Los rojos se caracterizan por la presencia de abundantes fibras rojas, ricas en mioglobina y en lípidos de metabolismo preferentemente oxidativo con bajo contenido en glucógeno y degradación activa del mismo a glucosa y de contracción lenta. Los músculos blancos por el contrario poseen un elevado contenido en glucógeno y un metabolismo preferentemente glucolítico, con degradación activa del glucógeno a ácido láctico y contracción rápida (Lawrie, 1998).

Se han encontrado diferencias en el pH final de diferentes músculos (Ouhayoun y Delmas, 1988), señalando estos autores diferencias entre el *Longissimus dorsi* y el *Biceps femoris* debido a su distinto tipo metabólico (el segundo es más oxidativo que el primero). También los músculos de la espalda y de la pierna tienen generalmente pH últimos más elevados que el lomo (Monin, 1980).

En el ganado ovino, Sañudo (1980) relaciona los pH más elevados con los músculos que forman parte de las piezas de tercera categoría y los más bajos con los de primera (presentando pH de 5.98 y 5.65 los músculos abdominales y *Longissimus dorsi* respectivamente). En corderos lechales de raza Lacha, López (1987) encontró que el valor del pH final más bajo, correspondió al músculo *Longissimus dorsi* (5.66) en comparación con el del músculo *Semitendinosus* que fue más elevado (5.73). Tarrant y Sherington (1980) señalan que los valores de pH más elevados corresponden a los músculos del tercio posterior debido a que durante el transporte y sacrificio estos músculos presentan mayor consumo de glucógeno que los del tercio anterior. También el músculo *Semitendinosus* del cordero parece ser más sensible a la degradación del glucógeno por efecto del estrés que el músculo *Longissimus dorsi* (Monin, 1980). Tarrant y Sherington (1980) señalan que la actividad muscular afecta al valor del pH, ya que cuanto menor sea, la caída del pH es más rápida.

Después del sacrificio y durante la glicolisis *post-mortem*, cada músculo de la canal está sujeto a diferentes secuencias de temperatura/pH (Lawrie, 1998), por lo que los músculos en los que tiene lugar la oxidación de mioglobina y reducción a MetMb, se ven afectados de forma diferente, modificando así la mayor o menor estabilidad intrínseca del color (Hood, 1980). No existe por lo tanto siempre una relación simple cuando se compara estabilidad del color y tipo metabólico muscular pues ambos fenómenos están regidos por la histoquímica.

También existen diferencias en relación a la ternura entre los distintos músculos, en función sobre todo del tejido conjuntivo que contienen, siendo los que presentan menor proporción de este tejido los más tiernos (Valin, 1988; Monin y Ouali, 1989). También existen diferencias dentro de un mismo músculo así, el músculo *Longissimus dorsi* difiere según la posición anatómica que se considere (Dransfield *et al.*, 1982), aumentando gradualmente el tejido conjuntivo desde el centro hacia los extremos (Dumont, 1990).

2.2.1.1.2. Raza

La raza parece no presentar un efecto importante sobre los valores del pH en el caso del ganado ovino. Sañudo *et al.* (1986) apenas encontraron diferencias en el valor final del pH del músculo *Longissimus dorsi* en las razas Rasa Aragonesa (5.85), Roya Bilbiliana (5.95), Ojinegra (5.75), Lacha (5.89) y en cruces de Romanov x Rasa Aragonesa (5.71). A la misma conclusión han llegado en trabajos posteriores Sañudo *et al.* (1992b) en corderos de tipo ternasco de diferentes

razas, Dransfield *et al.* (1979) tampoco encontraron diferencias significativas en el pH final al comparar razas.

En el ganado ovino las diferencias raciales no parecen afectar en gran medida a la CRA. Así Sañudo *et al.* (1993a) en un estudio comparativo entre canales ovinas semipesadas (13-15 Kg) de las razas Rasa Aragonesa, Lacaune y Merino alemán, no encontraron diferencias significativas en la cantidad de agua liberada a partir del músculo *Longissimus dorsi* (23.3, 23.4 y 24.1% respectivamente). Sin embargo en canales ligeras (10-12 Kg) de las mismas razas la carne del músculo *Longissimus dorsi* procedente de la raza Merina resultó ser más exudativa que el resto (23.9, 20.6 y 25.4% respectivamente) (Sañudo *et al.*, 1986), lo que parece confirmar la idea de que las razas más precoces poseen una menor CRA (Hawkins *et al.*, 1985; Fahmy *et al.*, 1992; Sañudo *et al.*, 1997).

Las razas con mejor morfología y alto nivel de engrasamiento tienen menos capacidad de retención de agua y presentan una carne más jugosa que las de morfología más pobre o razas más magras (Cross, 1977).

El color de la carne puede variar con la raza y con la aptitud productiva del animal (Boccard y Bordes, 1986). Esta diferenciación podría ser explicada por la mayor precocidad de las razas lecheras respecto de las cárnicas, ya que la deposición más temprana de grasa en las razas de aptitud lechera, lleva consigo que la mioglobina se encuentre más concentrada por la mayor demanda de oxígeno.

Otros autores también han observado diferencias entre razas relativas al color de las canales (Renner, 1984; Boccard *et al.*, 1980). Así de los autores citados y de otros muchos, se deduce que la intensidad del color tiende a variar inversamente con el desarrollo muscular, sobre todo es importante señalar las observaciones realizadas por May *et al.* (1975), según los cuales existe una relación positiva entre el desarrollo muscular y el porcentaje de fibras blancas. Según Sierra (1977), las carnes de las razas lecheras son más oscuras, por su mayor tono metabólico e irrigación relativa

La raza afecta también a las características de terneza de la carne puesto que existen diferencias raciales en el tejido conjuntivo y en el tejido muscular de las mismas. Así los músculos con mayor contenido en fibras blancas con menor cantidad de colágeno y más

susceptibles a la degradación proteica durante la maduración de la carne, presentan una carne más tierna (May, 1976).

En general, aunque la raza es un factor que es considerado en los estudios de calidad de carne y en los de producción y marketing es menos importante que otros factores como el sistema de alimentación (Notler *et al.*, 1991; Kabbali *et al.*, 1992), existiendo además grandes variaciones intrarraza que pueden llegar a ser mayores que el mismo efecto de la raza.

2.2.1.1.3. Sexo

En el ganado ovino se ha encontrado una escasa influencia del sexo sobre los valores del pH de la canal, aunque en general los machos dan lugar a pHs más elevados que las hembras (Sañudo *et al.*, 1986; Forcada, 1985) debido a su carácter más excitable.

Sin embargo en corderos lechales de raza Lacha, López (1987) encontró que el músculo *Longissimus dorsi* de las hembras tendía a presentar un pH final más elevado que el de los machos, no encontrando diferencias debidas al sexo en el resto de los músculos estudiados (semitendinoso y triceps). Los corderos de mayor peso (tipo ternasco y cordero precoz), en este trabajo, no presentaron diferencias significativas para los valores de pH debidas al sexo. Tampoco, Dransfield *et al.* (1990), encontraron diferencias significativas para los valores de pH final entre machos, machos castrados y hembras (5.7, 5.6 y 5.7, respectivamente) en corderos de raza Suffolk.

En la especie bovina, más estresable que la ovina, Jeremiah *et al.* (1991) observaron diferencias significativas entre los valores de pH final del músculo *Longissimus dorsi* entre machos castrados y machos enteros, correspondiendo los pH más elevados a los machos enteros, quizá justificado por su mayor excitabilidad y consecuentemente mayor consumo de glucógeno por la acusada contracción muscular e hipersecreción de catecolaminas antes del sacrificio (Sornay y Legras, 1978)

El sexo no parece afectar a la capacidad de retención de agua del músculo *Longissimus dorsi* de corderos de tipo ternasco ni en los corderos sacrificados con 30 Kg de raza Lacha (López, 1987). Únicamente en los corderos lechales, las hembras mostraron una mayor tendencia a liberar más

agua que los machos ($p \leq 0.10$) (13.9 frente a 12.1% de agua liberada respectivamente, medido como pérdidas por presión con papel de filtro).

La mayor precocidad en el desarrollo de las hembras, implica que a igual edad cronológica, éstas presentan un mayor contenido de pigmentos hemínicos que los machos (Renner, 1986). No obstante, López (1987) no encontró diferencias significativas entre corderos machos y hembras de raza Lacha en el contenido de hierro hemínico del músculo *Longissimus dorsi*, ni en la apreciación visual del color de la carne en animales de 12, 24 y 30 Kg de peso vivo. A conclusiones parecidas llegaron Dransfield *et al.* (1990), quienes no observaron diferencias significativas en los parámetros de color entre corderos machos, machos castrados y hembras de 18 Kg de peso canal de los cruces Dorset-Down y Suffolk. Para los autores anglosajones, en ganado bovino, las canales de los machos presentan a menudo la carne más oscura que el resto de los tipos sexuales de su misma edad, como consecuencia de la mayor excitabilidad de los mismos en el momento del sacrificio y por tanto de los valores de pH más elevados.

También se han encontrado diferencias entre sexos en relación al contenido de tejido conjuntivo (Prost *et al.*, 1975). Según Alvi, (1980) los machos enteros tienen una mayor proporción de colágeno que los criptórquidos.

Las diferencias entre sexos están bien definidas, a la misma edad, las hembras tienen la carne más tierna que los machos y los castrados son más tiernos que los enteros (Field, 1971; Misock *et al.*, 1976), especialmente alrededor de la madurez sexual (Touraille, 1991). Sin embargo, según Dransfield *et al.* (1990), no hay evidencias para afirmar que la carne de machos enteros sea más dura que la de criptórquidos o parcialmente castrados. En la especie ovina valores del Warner-Bratzler son generalmente mayores para las canales de machos que para las hembras y castrados (Field, 1971), lo que puede deberse al diferente nivel de engrasamiento, sin embargo, posiblemente esto se halla incrementado con la edad pues en corderos jóvenes (1 a 3 meses) no se observa el efecto sexo (Sierra, 1986).

En animales de la misma edad, frecuentemente se atribuye mayor dureza a la carne proveniente de los machos que la de las hembras (Touraille, 1982). No obstante, existen conclusiones contradictorias entre los diferentes autores al respecto. Así, Sañudo *et al.* (1986) no encontraron diferencias significativas en la dureza de la carne en ganado ovino al comparar machos y hembras. López (1987) tampoco encontró diferencias entre sexos en la dureza de la carne en

corderos de tipo lechal, ternasco y cordero semipesado (30 Kg de PV) de raza Lacha a un mismo peso de sacrificio; al igual que les ocurrió a Kemp *et al.* (1981) que tampoco hallaron diferencias significativas en los valores de fuerza al corte en los corderos machos y hembras del cruce ½ Hampshire x 1/4 Suffolk + 1/4 Rambouillet.

Algunos autores relacionan la mayor dureza de la carne de los terneros machos con un mayor contenido de colágeno y de fibras rojas y una menor cantidad de grasa de infiltración que las hembras (Dreyer *et al.*, 1977). Otros añaden que una vez alcanzada la madurez fisiológica, la testosterona incrementa los niveles de colágeno en los machos y con ello la dureza de su carne (Hedrick *et al.*, 1983).

Por otra parte, la mayor cobertura de grasa que presentan generalmente las hembras contribuye a evitar la contracción por el frío en el caso de una rápida refrigeración, presentando su carne mayor ternura que la de los machos.

2.2.1.1.4. Peso

López (1987) correlacionó el peso de la canal con el valor de pH concluyendo que en corderos de raza Lacha, el incremento del peso de la canal está correlacionado con un descenso del valor de pH en el momento del sacrificio (pH₀) y 45 minutos después (pH₄₅)(con coeficientes de correlación entre 0.27 y 0.59, dependiendo del músculo).

Para Monin, (1989), la velocidad de caída del pH es más acusada en las canales de mayor peso, por contra, Sañudo *et al.* (1996) comprobaron que en la raza Rasa Aragonesa, el aumento de peso de la canal desde los 8 hasta los 13 Kg aproximadamente lleva consigo un incremento en el valor del pH final de la carne (5.58 frente a 5.86, $p \leq 0.01$), lo que puede ser debido a una mayor susceptibilidad de los animales más viejos al estrés (Devine *et al.*, 1993).

Sañudo *et al.* (1993b) no encontraron diferencias importantes en el valor de pH final con el incremento del peso vivo en diferentes razas ovinas, lo que concuerdan con los expuestos por Solomon *et al.* (1980) y Hawkins *et al.* (1985).

Por lo general, se considera que con el aumento de peso de la canal disminuye la capacidad de retención de agua (Solomon *et al.*, 1980; Schönfeldt *et al.*, 1993).

Así, Sañudo *et al.* (1996), en corderos cruzados Hampshire x Suffolk - Rambouillet y en corderos de raza Rasa Aragonesa respectivamente observaron que con el incremento del peso vivo la carne presenta mayor facilidad para liberar agua. Así mismo, los trabajos de López (1987) sobre la calidad de la carne en la raza Lacha, después de aplicar fuerzas de presión sobre la carne, concluyeron que el aumento del peso de la canal está asociado con el incremento de pérdidas de jugo y que el peso de la canal explica el 53% de las variaciones de la CRA. En este mismo trabajo, el músculo *Longissimus dorsi* fue significativamente menos exudativo en los corderos lechales que en los corderos de tipo ternasco y aquellos que fueron sacrificados con aproximadamente 30 Kg de peso vivo (13.00, 22.88 y 21.91% de pérdidas de agua, respectivamente) ($p \leq 0.001$), no encontrándose diferencias significativas entre los dos tipos de corderos de mayor peso.

En los mamíferos domésticos, la intensidad de color aumenta con el peso vivo como consecuencia del incremento de la concentración de mioglobina (Sañudo *et al.*, 1996; Rousset-Akrim *et al.*, 1997). Este incremento es rápido en las primeras etapas del desarrollo del animal, para estabilizarse posteriormente. Los trabajos de López (1987), corroboran esta afirmación ya que en el caso de los corderos de raza Lacha se observa un incremento de la concentración de mioglobina muscular desde los 12 hasta los 24 Kg de PV (2.30 frente a 3.25 mg/g de hierro hemínico, $p \leq 0.001$), y a partir de este peso de sacrificio no observa aumento significativo de los niveles de dicho pigmento.

El mayor engrasamiento y la pérdida de permeabilidad capilar que se producen con la edad, implican mayor dificultad para la transferencia de O_2 hasta la fibra muscular. Por ello, es necesaria mayor cantidad de mioglobina muscular para garantizar el aporte de O_2 adecuado (Renerre y Valin, 1979). El color de la carne de los corderos de raza Lacha apreciado subjetivamente se intensifica a medida que se incrementa el peso de sacrificio.

El peso vivo es uno de los factores principales que determina la dureza de la carne (Kirton, 1976). El incremento de peso lleva consigo un aumento de la dureza de la carne (Touraille, 1982), observándose una alta correlación negativa entre el peso del animal y la blandura de la misma ($r=0.95$; $p \leq 0.001$; Ouali, 1991).

2.2.1.1.5. Edad

Otro factor que puede intervenir en las variaciones del pH es la edad de los animales, lo que podría estar ligado al contenido en glucógeno del músculo que aumenta por lo general con la edad del animal. Tanto Tuma *et al.* (1963) como Sañudo y Sierra (1982) y Jaime (1988), han encontrado pH superiores en animales jóvenes, además este último autor señala, una velocidad de caída del pH mayor en ternascos comparados con lechales, lo que indica una actividad más elevada de sus músculos

En general, se puede decir que la velocidad de caída del pH aumenta con la edad, existiendo una cierta tendencia a tener pHs más bajos a mayores edades (Sañudo y Sierra, 1982).

En ganado ovino Sañudo y Sierra (1982), indican que en animales de mayor edad hay una menor CRA.

Se admite, de forma general, que la cantidad de pigmentos (Charpentier, 1967), y consecuentemente la cantidad de hierro hemínico (Renerre, 1982b), aumentan con la edad. Si el aumento es regular desde el nacimiento al estado adulto, cada músculo tiene su ritmo de incremento y su máximo (Renerre y Valin, 1979). La cantidad de pigmentos durante el crecimiento puede ser considerada como una medida del desarrollo fisiológico del animal, constituyendo un verdadero reloj biológico interno (Boccard, 1992).

El incremento que se produce también en la tasa de mioglobina está relacionado con el aumento de la infiltración de grasa intramuscular, lo que crearía mayores dificultades de oxigenación (Renerre y Valin, 1979).

En ganado ovino, donde el factor edad es también un factor de variación importante, las carnes claras pertenecen a animales jóvenes lactantes y estabulados (Sierra, 1974), lo que determina una gran incidencia de este factor en la formación del precio. En el ternasco el color varía del rosa al rojo pálido tomando tonalidades oscuras en los corderos pastencos o en los animales de mayor edad.

Varios autores (Boccard *et al.*, 1979; Shorthose y Harris, 1990) han encontrado una notable influencia de la edad sobre la ternesa. Repetidas veces se ha afirmado que la carne de bovinos

más viejos es más dura que la de jóvenes (Tuma *et al.*, 1963; Dikeman y Tuma, 1971; Smith *et al.*, 1982).

Asimismo Schönfeldt *et al.* (1993) confirman en su estudio que la carne de corderos y cabritos jóvenes es más tierna.

Así con el incremento de la edad, se van a producir cambios en el colágeno (Dumont y Valin, 1982), que son debidos a un aumento del número de enlaces covalentes entre las moléculas, que está asociado con una menor solubilidad (Sinex, 1968; Bailey, 1969; Kopp, 1976). Se ha observado que se forman dos tipos de enlaces: intramoleculares en la molécula de tropocolágeno (Borstein y Piez, 1966) y enlaces intermoleculares entre moléculas de fibra intacta, influyendo estos últimos en la estabilización de las fibras de colágeno.

Sin embargo existen contradicciones entre los trabajos encontrados respecto a la mejora o no de la ternura con la edad, la variabilidad entre los resultados se debe a distintos rangos de peso y edad y a otros factores que también tienen influencia en la relación. No obstante se sugiere que la ternura del cordero mejora ligeramente hasta 5-6 meses y luego disminuye (Furnival *et al.*, 1977). Esta mejora podría deberse igualmente al incremento en tejido adiposo intramuscular, ya que éste es más tardío (Sierra, 1977) y su endurecimiento posterior estaría motivado por la estabilidad de dicho tejido, mientras que a la vez el colágeno se torna menos soluble.

Finalmente se ha observado que durante el crecimiento del animal los niveles de calpaína se incrementan (Dransfield, 1992).

2.2.1.2. Factores extrínsecos

2.2.1.2.1. Alimentación

La alimentación incide sobre el valor nutritivo de la carne, sobre su jugosidad, ternura y textura, sobre su sabor y olor, y sobre la composición de su grasa.

Se considera por lo general que un alto plano de alimentación lleva consigo un incremento de los valores de pH final. Así, Alberti y Sañudo (1987) observaron en ganado ovino que los valores de pH más elevados medidos en los músculos *Longissimus dorsi* y *Semimembranosus*, se

presentaron en aquellos canales que tuvieron un acabado prolongado con alimento concentrado. Para otros autores, el bajo plano de alimentación supone una situación crónica de estrés nutricional para el animal caracterizada por las escasas reservas de glucógeno muscular y como consecuencia de ello, por los valores de pH final elevados (Bray *et al.*, 1989; Purchas, 1990).

Hay autores que opinan que la naturaleza del alimento no tiene excesiva importancia sobre el valor del pH final (Alberti *et al.*, 1988; Sierra *et al.*, 1988).

En este mismo sentido Alberti *et al.* (1992) observaron que los distintos réimenes alimenticios con alfalfa deshidratada no afectaron al valor del pH final de la carne en terneros de razas Pirenaica y Parda alpina.

2.2.1.2.2. Época del año

La relación que existe entre los valores de pH final y la época del año en que se sacrifican los animales estaría indirectamente justificada por el efecto de la alimentación. Así en épocas en las que la disponibilidad de alimento permite la ingestión abundante del mismo, se ven incrementadas las reservas de glucógeno muscular y como consecuencia las canales tienden a presentar valores de pH más bajos. Así, Santolaria (1993) observó que en otoño, cuando disminuye la disponibilidad de alimento, aumentó ligeramente el número de terneros que presentaron pH elevado ($p \leq 0.05$).

El efecto que la estación invernal tiene sobre el valor del pH se podría explicar en parte por las escasas reservas corporales y la necesidad del individuo de mantener su temperatura corporal. El mecanismo de producción de calor en situación de hipotermia invernal conlleva al consumo de las reservas de glucógeno, con el consiguiente incremento del valor de pH y la presencia de carnes de corte oscuro (Alexandrova *et al.*, 1996). No obstante, el efecto de la estacionalidad podría estar eclipsado por otros factores anteriormente comentados (estrés, alimentación,...).

2.2.1.2.3. Estrés

El consumo de las reservas de glucógeno muscular en situación de estrés está relacionado directamente con la aparición de pH elevados. La experiencia de Devine *et al.* (1993) en 18 corderos de raza Romney, mostró que tras someterlos a diferentes tratamientos estresantes, se

incrementaba significativamente el pH final, y que estuvo directamente relacionado con la intensidad de dicho tratamiento, ya que se ha comprobado que cuanto mayor sea el número de factores que producen estrés, el pH es más alto debido a que algunos de los efectos son acumulativos (Apple et al., 1993). También Pinkas et al. (1982), en ganado ovino manifestaron que existe una fuerte interacción entre estrés y tipo metabólico en el pH último de los músculos.

Aunque en los ovinos aparecen también perturbados los fenómenos de la glucogenolisis por efecto del estrés, lo son en menor grado que en el cerdo mejorado y seleccionado para la producción de carne (Charpentier y Goutefongea, 1966), hecho menos apreciable en el cerdo ibérico y sus cruces (Sañudo y Sierra, 1991).

Los animales que llegan al sacrificio con reducidas reservas de glucógeno en el músculo presentan valores de pH final alejados del punto isoeléctrico de las proteínas (pH=5.5), por lo que cabe esperar, que éstas presenten radicales libres para la captación de moléculas de agua y en consecuencia, la carne presente elevada la capacidad de retención de agua (Forrest *et al.*, 1979). Debido al estrés, el pH no desciende normalmente y permanece superior a 6 causado por un agotamiento del glucógeno muscular (Briskey *et al.*, 1959; Crystall *et al.*, 1982), lo que hace que tenga una mala actitud para la conservación y un color generalmente oscuro que hace que se pegue al cuchillo.

No obstante, la carne procedente de animales sometidos a estrés momentos antes del sacrificio presentan reducida capacidad de retención de agua como consecuencia de que en esta situación se produce un rápido descenso del valor del pH alcanzando valores próximos al punto isoeléctrico de las proteínas musculares y disminuyendo por ello el número de enlaces de las moléculas de agua con dichas proteínas.

El transporte no parece afectar a la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne del ganado ovino, ya que este tipo de ganado apenas se ve influenciado por el desplazamiento. A esta conclusión llegaron Warris *et al.* (1990b) al someter a corderos cruzados a diferentes tiempos de duración de transporte de 1 a 6 horas en diferentes épocas del año y comprobar que las pérdidas de agua del músculo *Semitendinosus* eran similares en los diferentes tratamientos estudiados aunque si el transporte se prolonga durante 24 horas, aumenta la CRA. La CRA

también disminuye en animales mantenidos durante largos periodos de tiempo sin agua y comida.

Kirton *et al.* (1968) no encontraron diferencias de palatabilidad entre diferentes tipos de ayuno. Estos resultados no están de acuerdo con la puntualización de Watt (1968) donde el ayuno y el descanso de corderos previo al sacrificio mejoran la terneza de la carne. Por otra parte las condiciones del ayuno (por ejemplo consumo de agua o no) pueden influir notablemente (Sierra, 1977).

Sin embargo Flores *et al.* (1992) señalan que en bovinos la espera previa al sacrificio y el movimiento causan alteraciones en la homeostasis, conllevando una situación estresante, de forma que existe una gran probabilidad de que se vea disminuida la terneza de la carne cuando esta espera es muy larga.

La acción de una dieta de baja calidad o poco apetecible, el destete y las condiciones de alojamiento, también pueden causar modificaciones en las características de la carne o hacerlo más susceptible al estrés (Ellis *et al.*, 1997).

En general la carne de los animales estresados es más oscura presentando una mayor capacidad de retención de agua, siendo además más susceptible al ataque de los microorganismos, tendiendo a producir sabores anormales (Braggins y Frost, 1997) y más tierna (Apple *et al.*, 1993).

2.2.2. Parámetros que determinan la calidad de la carne

2.2.2.1. pH

El pH del tejido muscular del animal vivo es prácticamente neutro. Cuando el animal muere, el músculo se ve privado de risgo sanguíneo y por lo tanto de oxígeno. Esto hace que se bloquee la síntesis de ATP, que es la fuente ordinaria de obtención de energía muscular, con lo cual el músculo se ve obligado a adquirir esa energía por vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, dando lugar a la producción de ácido láctico (Monin, 1988). Mientras exista glucógeno se produce ácido láctico, descendiendo el pH hasta que se interrumpen los fenómenos

glucolíticos o bien hasta que se inactivan las enzimas que rigen el metabolismo muscular (Lawrie, 1998).

Tanto el valor final del pH (aproximadamente a las 24 h. después del sacrificio) como la velocidad de caída del mismo durante la transformación del músculo en carne, afectan a las características organolépticas (color, jugosidad, flavor...) y tecnológicas de la misma (capacidad de retención de agua, capacidad de conservación).(Sañudo, 1991.)

El pH a las 24 horas, está correlacionado negativamente con la actividad ATPasa miofibrilar y tiene poca relación con el potencial glucolítico, siendo la evolución del pH muy útil para conocer el estado en que se encuentra el músculo en la fase entre el sacrificio y la instauración del *rigor mortis*.

La caída del pH dependerá a su vez del tipo de fibras predominantes y de la actividad muscular antes del sacrificio. Los músculos con predominio de fibras de contracción rápida (blancas) alcanzan valores finales de 5.5 mientras que si existe una mayor cantidad de fibras de contracción lenta (rojas) el pH no baja de 6.3. Así mismo, los músculos del animal que más trabajo desarrollan en el período previo al sacrificio son los que presentan un pH más elevado postmortem.

Otro factor a tener en cuenta es la temperatura del músculo ya que también modula la velocidad de la glucólisis post-mortem; temperaturas elevadas (alrededor de 35°C) aceleran el descenso del pH, alcanzándose el pH final en menos tiempo y temperaturas bajas pueden provocar el acortamiento por frío. (Pearson y Young, 1989).

Dada la relación que existe entre el descenso del pH y la transformación del músculo en carne, la determinación de este parámetro constituye una buena medida para conocer el proceso de maduración y valorar la calidad de la carne como producto final del mismo (Purchas, 1990). En este sentido Jeremiah *et al.* (1991) propusieron identificar canales consideradas como duras mediante el valor final del pH, llegando a la conclusión de que valores comprendidos entre 5.8 y 6.2 tomados en el músculo *Longissimus dorsi* en ganado bovino de varias razas daban lugar a canales que el consumidor apreciaba como duras. Igualmente Beriain y Lizaso (1997), señalan que a medida que se hace mayor la velocidad de caída del pH y disminuye el pH final de la carne, aumenta su dureza y la cantidad de jugo expelido.

La depleción de glucógeno muscular dependerá en gran medida de todos aquellos factores que causan estrés a los animales, entre los que cabe citar el ruido, los movimientos bruscos, los olores nuevos, la privación de agua y alimento, las temperaturas extremas, las instalaciones inadecuadas, los tiempos prolongados de espera, la ruptura de grupos sociales establecidos y la agrupación de animales de distinta procedencia. Así un pH final elevado da lugar a carnes oscuras, con mayor capacidad de retención de agua, de consistencia firme, aspecto seco en su superficie y peor conservación (DFD: Dark, firm, dry), sobre todo en vacuno y porcino (Fischer y Hamm, 1980). La luz es absorbida por la estructura ordenada y traslúcida de las fibras musculares, la reflexión es baja y las superficies aparecen por ello oscuras. El elevado pH proviene de la utilización de las reservas de glucógeno muscular antes del sacrificio lo que da lugar a una escasa formación de ácido láctico post-mortem.

Un pH último bajo dará lugar a carnes más claras, blandas y con menor poder de retención de agua (PSE: pale, soft exudative, carnes típicas de porcino). Se debe a la aparición de un metabolismo glicolítico muy rápido que determina una velocidad de descenso del pH y una progresiva desaparición de ATP muy rápida. En este caso las fibras musculares separadas dan lugar a una estructura desordenada con un gran espacio extracelular y la luz se refleja en mayor proporción desde la superficie (Mac Dougall, 1970).

2.2.2.2. Capacidad de retención de agua y pérdidas por cocción

La carne cruda de los mamíferos inmediatamente después del sacrificio contiene, por término medio, un 75% de agua (Lawrie, 1998), porcentaje que varía con la especie de procedencia y el músculo que se considere. Parte de este agua se pierde por evaporación durante el enfriamiento de las canales (las de bovino pierden hasta un 2% de su peso y en corderos lechales estas pérdidas pueden llegar a ser de un 5%) o por goteo, como consecuencia del despiece (según el grado de división de la carne puede perderse hasta un 6%, porcentaje que llega a doblarse tras la descongelación y que puede ser mayor aún en las carnes PSE). Las mayores pérdidas de agua, sin embargo, se producen en el cocinado de la carne, pérdidas que pueden superar el 40% (Offer y Knight, 1988). Parece por tanto justificado el interés por estudiar la capacidad que tiene la carne para retener el agua, tanto cruda como cocinada.

Hamm (1960) define la capacidad de retención de agua (CRA) como la propiedad que tiene la carne para retener su agua constitutiva tanto durante la aplicación de fuerzas externas como por

otros tratamientos. Sañudo *et al.* (1992), la define como la capacidad de la carne para retener el agua que ella misma contiene cuando se aplican fuerzas externas como cortes, calentamiento, trituración y prensado lo cual presenta un gran interés durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación.

La CRA contribuye a la calidad de la carne (Hamm 1960) y de sus productos derivados, estando relacionada con la textura, ternura, y color de la carne cruda y con la jugosidad y firmeza de la carne cocinada (Offer *et al.*, 1989).

El parámetro de calidad más afectado por la CRA es la jugosidad. Al hablar de la jugosidad de la carne se pueden distinguir dos estadios. En primer lugar aparece una jugosidad inicial, que produce sensación de humedad al inicio de la masticación, debido a una rápida liberación de jugo, y que depende básicamente de la capacidad de retención de agua de la carne. Posteriormente, aparece una jugosidad continuada, mantenida o sostenida, la cual está determinada por la cantidad de grasa que esa carne posea.

La grasa que presenta la carne, estimula la secreción de saliva por lo que según algunos autores (Jennings *et al.*, 1978; Sañudo, 1992b), la carne de los animales con mayor estado de engrasamiento es más jugosa. Esto podría explicarse por el efecto que la grasa intramuscular ejerce sobre la microestructura de la carne, permitiendo la retención de una mayor cantidad de agua (Hamm, 1960). También cuanto más tierna es la carne se liberan, más rápidamente los jugos durante la masticación y es mayor la sensación de jugosidad que se produce.

También se puede afirmar, que los cambios producidos en la CRA son un indicador muy sensible de los cambios en la estructura de las proteínas miofibrilares (Hamm, 1975; Honikel *et al.*, 1986). Así la desnaturalización de las proteínas disminuye la CRA.

La causa más importante que determina aumento de la CRA durante la maduración, sería el incremento del pH en el mencionado proceso, hecho que no se produce en el trabajo sobre carne ovina de Beltrán (1988). Honikel (1991) considera que la CRA de la carne depende en más de un 80% del valor final y de la caída del pH del músculo. Parece por ello que existe una relación lineal entre ambos parámetros (pH final y caída del pH) que ha sido ampliamente estudiada por Bouton *et al.* (1971) en ganado ovino.

Respecto a las "pérdidas por cocinado" se producen por la rotura de la membrana celular, y por las modificaciones que sufren las proteínas en relación a su estructura tridimensional con el calentamiento. La mayoría de los autores consultados señalan pérdidas superiores en la carne sometida a un cocinado lento (Abougroun *et al.*, 1985; Pospiech y Honikel, 1991), mientras otros tienen una opinión opuesta (Appel y Löfqvist, 1978; Choun *et al.*, 1986), hay una tercera postura que señala que el grado de cocinado no afecta la CRA del tejido muscular (Tyszkiewicz y Tyszkiewicz, 1966). Sin embargo, como indica Sierra, (1977) hay que tener en cuenta, no solo el tiempo de cocción sino también el tipo de cocinado, en función de la temperatura, presencia de agua, calor directo, tamaño, grosor y preparación previa de la pieza.

2.2.2.3. Colágeno

El tejido conjuntivo, elemento estructural que encierra y agrupa a las fibras musculares, cuenta con varios tipos de células como fibroblastos, macrófagos, mastocitos, adipocitos etc.; separados por una matriz compuesta por fibras fundamentalmente colágenas (en un 80% aproximadamente), elásticas (con elastina) y de reticulina, rodeadas por una sustancia homogénea, amorfa y muy viscosa, altamente hidratada, denominada sustancia fundamental.

El colágeno, formando parte del tejido conectivo, está presente en el músculo rodeando a cada fibra muscular (endomisio) a cada haz de fibras (perimisio) y al conjunto del músculo (epimisio).

Desde un punto de vista molecular el colágeno es una glucoproteína fibrosa, insoluble en medio neutro y con un menor contenido en aminoácidos esenciales que las proteínas intracelulares. No contiene ni Triptófano ni Cistina, por lo que es de bajo valor biológico, pero se le considera el principal responsable de la denominada "dureza de base de la carne" ya que casi no se ve afectado por la maduración.

La unidad funcional del colágeno es el tropocolágeno, formado por tres cadenas polipeptídicas, portadoras de glúcidos (glucosa y galactosa) y enrolladas entre sí, constituyendo una hélice triple. Las cadenas polipeptídicas están unidas por fuertes enlaces, de ahí que sea una proteína difícilmente atacable por enzimas digestivas. La proporción de estas uniones incide en la textura de la carne y es diferente de un músculo a otro. Por ello, la textura de la carne depende del colágeno que contenga y en particular de su rigidez mecánica. Cuanto más grande sea, mayor número de enlaces, mayor resistencia al corte y por tanto, mayor será la dureza de la carne.

.En el contenido en colágeno, dentro de la misma especie y raza, incide tanto la edad como el músculo, pudiendo llegar a ser hasta tres veces superior en un músculo que en otro (Heinze *et al.*, 1986). Como señalan Beltrán y Boccard (1992), el contenido en colágeno también varía en un mismo músculo desde la periferia a la parte más interna del mismo.

Las propiedades físicas de las fibras de colágeno dependen del número y naturaleza de los enlaces que poseen. Los enlaces serán más o menos lábiles según la temperatura y condiciones del medio (presencia de agua, pH, etc.).

La solubilidad del colágeno muscular varia con el músculo, la raza y el sexo (Heinze *et al.*, 1986) pero el factor esencial de variación es el resultado de la polimerización que progresa con el envejecimiento y que explica una parte de las diferencias que se observan dentro de una misma raza.

La cantidad de colágeno y sobre todo el estado de estructuración de los componentes del mismo (que van a determinar las fuerzas de contracción y el nivel de solubilidad), inciden sobre la dureza de la carne.

Estudios realizados en animales de abasto, conducen a opiniones divergentes respecto a los cambios cuantitativos que se producen en función de la edad. Bornstein y Traub (1979) y Wada *et al.* (1980), entre otros, observan un incremento del contenido en colágeno con la edad del animal, mientras que Reagan *et al.* (1976), no encuentran una relación significativa entre ambos factores. Kurosu (1979), sin embargo, señala que cuanto más viejo es el animal hay menos cantidad de colágeno en el músculo.

Como consecuencia de lo dicho en párrafos anteriores, al descenso de la solubilidad del colágeno, y no a la concentración del mismo se ha asociado el aumento de la dureza que se va produciendo con la edad.

Con la edad del animal aumenta el estado de reticulación del colágeno (aumenta el número de entrecruzamientos covalentes), haciendo que las fibras colágenas sean más robustas y por lo tanto provocando una textura más dura de la carne (Kopp, 1971). Los enlaces cruzados son termostables, hecho al que se atribuye el que la cantidad de colágeno solubilizado mediante

calentamiento sea superior en los animales más jóvenes, es decir, que la solubilidad del colágeno disminuya con la edad (Hill, 1966).

2.2.2.4. Calidad sensorial de la carne de cordero

El concepto de calidad sensorial es difícil de definir porque no está ligado exclusivamente a características o propiedades intrínsecas del alimento sino que es el resultado de la interacción entre éste y el consumidor.

El concepto de calidad sensorial ha ido evolucionando desde que, en 1959, Krammer la definió como “*Conjunto de características que diferencian entre distintas unidades de un producto y que influyen en aceptación del mismo por el consumidor*”. Algunos autores consideran más importante la primera parte de esta definición y para ellos, la calidad sensorial de un alimento depende principalmente de las características del propio alimento. Otros, ponen el acento en la segunda parte y piensan que la calidad sensorial está ligada principalmente a las preferencias de los consumidores. En el primer caso, la definición de la calidad dependería de los criterios de un grupo de expertos y podría considerarse relativamente constante durante un determinado período de tiempo (Molnar 1995). Con el segundo planteamiento la calidad estaría relacionada directamente con las preferencias de los consumidores y por ello, habría que considerarla variable y muy dependiente del contexto (Cardello, 1995). Si la primera postura puede dar lugar a unos resultados de dudosa validez práctica porque asume que la opinión de los expertos es representativa de la de los potenciales consumidores del producto, tampoco la segunda es totalmente satisfactoria porque para establecer una especificación de calidad no es suficiente, en muchos casos, tener en cuenta exclusivamente los datos de aceptabilidad de un producto (Booth, 1995)

En diversos estudios se ha comparado la carne de cordero con otras carnes, percibiéndose la carne de cordero como un alimento tierno y jugoso, con olores moderados, siendo bien aceptada por los consumidores.

2.2.2.4.1. Color

Desde un punto de vista físico el color de la carne es el resultado de la distribución espectral de la luz que incide sobre ella, y de la intensidad de la luz reflejada por su superficie.

El color de la carne depende de la concentración de pigmentos hemínicos (fundamentalmente mioglobina), del estado químico de la mioglobina en superficie, de la estructura y estado físico de las proteínas musculares y de la proporción de grasa de infiltración (Warris *et al.*, 1990).

La mioglobina es una proteína sarcoplasmática, relativamente pequeña, portadora de oxígeno (PM: 16.700). Su función es la de almacenar oxígeno y facilitar su transporte a las mitocondrias. Contiene una proteína, la globina, con un grupo hemo de ferroporfirina que es idéntico al de la hemoglobina. El grupo hemo es el responsable del intenso color rojo-pardo de la hemoglobina y de la mioglobina.

La mioglobina almacena y transporta el oxígeno que necesita el músculo, por lo que su concentración aumenta a medida que crece la demanda de oxígeno; por ello es superior en los músculos más activos y según crece el animal, siendo, además diferente en las distintas especies domésticas. La hemoglobina (especialmente en los animales mal sangrados), los citocromos y los flavonoides pueden influir también en el color de la carne, así como, indirectamente, su contenido en humedad y grasa intramuscular (Cepero y Sañudo, 1996).

No solamente es importante el contenido en mioglobina, sino también el estado químico en que esta se encuentre, produciéndose una interconversión de forma continua entre las tres formas básicas del pigmento lo que hace variar el color según la proporción relativa y la distribución de estos pigmentos.

El color de la carne es uno de los atributos más valorados por el consumidor en el momento de la compra hasta el punto de ser considerado uno de sus criterios preferenciales (Krammer, 1994).

El consumidor en general prefiere una carne de color rojo brillante mientras que rechaza la de color apagado o pardo (Berriain y Lizaso, 1997). No obstante en la aceptación del color influyen factores geográficos, sociales culturales por lo que la generalización en este parámetro es compleja.

En España el color claro está asociado a carnes jóvenes y por tanto apreciadas, incidiendo de este modo y de forma notable en los precios (López, 1976 y Colomer-Rocher, 1978), contrariamente a otros países comunitarios donde se aceptan con mayor facilidad carnes más

oscuras. En los últimos años ha ganado importancia la problemática del color con el desarrollo de la venta de carne en bandejas pre-ensadas.

2.2.2.4.2. Textura

La textura de la carne se percibe como un conjunto de sensaciones táctiles resultado de la interacción de los sentidos con las propiedades físicas y químicas entre las que se incluyen la densidad, la dureza, la plasticidad, la elasticidad, la consistencia, la cantidad de grasa, la humedad y el tamaño de las partículas de la misma.

De entre ellas el consumidor confiere una mayor importancia a la ternura o bien si se considera de forma antagónica, a la dureza, como principal atributo de la textura, siendo uno de los criterios determinantes de la calidad de la carne (Lawrie, 1998; Ouali, 1991).

Chambers y Bowers (1993), afirman que la ternura decide el valor comercial de la carne, y Boleman *et al.* (1995), confirman que el consumidor paga por ternura. Otros autores señalan que la ternura y el color de la carne son los parámetros principales que determinan las preferencias del consumidor (Pearson, 1966; Prescott y Hinks, 1968).

Dos fracciones proteicas determinan la ternura, por una parte están las proteínas del tejido conjuntivo y por otra las miofibrilares (Marsh, 1977). Las primeras están constituidas por el colágeno, la elastina y la reticulina y constituyen un elemento negativo que limita la ternura. El colágeno es el principal componente del tejido conjuntivo, determina la dureza de base ya que cuanto mayor es su cantidad, más dura es la carne. Algunos autores en cambio señalan que es la solubilidad del colágeno el factor más importante a considerar al hablar de la ternura (Hill, 1966). Young y Braggins (1993) señalan que la concentración de colágeno es más determinante en la valoración de la ternura de la carne ovina por un panel sensorial, mientras que la solubilidad está más relacionada con la fuerza de corte.

La segunda fracción proteica implicada en la ternura, son las proteínas miofibrilares cuyas transformaciones post-mortem son responsables de las principales variaciones de esta cualidad, existiendo una estrecha relación entre esta y el grado de concentración de las miofibrillas (los músculos relajados son más tiernos que los contraídos). Así Herring *et al.* (1967) demostraron

que la dureza de la carne está relacionada con la contracción de las fibras musculares, hecho que se refleja observando la longitud del sarcómero.

Después de la muerte del animal el proceso de transformación del músculo en carne pasa por dos fases sucesivas: en la primera se desarrolla el rigor mortis, que conduce a la acidificación y pérdida de la elasticidad del tejido muscular, el cual alcanza la máxima dureza. La segunda fase, maduración o tenderización corresponde a un aumento gradual de la ternera, durante el almacenamiento *post-mortem* aunque empieza ya a partir de la muerte del animal. En esta última fase se producen una serie de cambios estructurales y bioquímicos en la fibra muscular. La naturaleza y alcance de estos cambios y, por lo tanto la calidad de la carne, están muy influenciados por la especie animal y por las características fisiológicas y bioquímicas del músculo, así como por el perfil de pH-temperatura *post-mortem*.

Según Shackelford *et al.* (1991) y Koohmaraie (1992) existen evidencias de que en el sistema proteolítico las calpaínas son responsables de las proteolisis postmortem de las proteínas endógenas del músculo esquelético. La extensión del ablandamiento es proporcional al nivel de calpaínas y calpastatina, no obstante variaciones en el desarrollo del rigor pueden alterar la estructura muscular, la liberación de iones calcio y por consiguiente la actividad de las calpaínas. Es necesario considerar la gran salida de Ca^{2+} procedente del retículo sarcoplásmico y quizá también de las mitocondrias, que se produce a bajas temperaturas, de forma que esta elevada concentración actuaría como activador de las calpaínas (Beltrán, 1988).

Koohmaraie *et al.* (1988) afirman que la calpaína es el único sistema proteolítico con las características necesarias (muestran una adecuada actividad en el rango de pH 5.5-6.5, según Ceña *et al.*, 1992) para llevar a cabo los cambios post-mortem, mencionados anteriormente, que conlleven el ablandamiento de la carne, además estos mismos autores concluyen diciendo que la calpaína I es activa bajo las condiciones habituales de almacenamiento de carne de cordero.

Shackelford *et al.* (1991), han observado que el inhibidor de las calpaínas (calpastatina), es el parámetro mejor correlacionado con la ternera tras 14 días de almacenamiento a 2°C y especularon sobre su papel como regulador de la ternera, aunque la mejor correlación es $\mu\text{clap/calpast}$.

Shackelford *et al.* (1994), han señalado que es posible la selección de bovinos por el aumento de la actividad de la calpastatina, contenido de grasa intramuscular y fuerza de corte del Warner-Bratzler, sin embargo la selección en contra de la actividad del inhibidor puede ser una mejor aproximación hacia la mejora de la ternera de la carne.

El conjunto de sensaciones ligadas a la textura son difíciles de medir mediante técnicas instrumentales, de manera que únicamente las técnicas sensoriales servirían para valorar este complejo atributo, por lo que algunos investigadores han intentado relacionar el análisis instrumental de la textura con el análisis sensorial (Costell y Duran, 1981). Entre los parámetros instrumentales propuestos se ha observado que la medida de la dureza es el parámetro que mejor se correlaciona con la respuesta discriminatoria del análisis sensorial.

2.2.2.4.3. Flavor

El flavor de un alimento corresponde al conjunto de impresiones olfativas y gustativas provocadas en el momento del consumo. Este término engloba el olor del alimento, ligado a la existencia de compuestos volátiles, y el sabor, que tiene su origen en algunas sustancias solubles. Estos compuestos químicos están presentes en concentraciones muy pequeñas, que no afectan al valor nutritivo, pero sí a la aceptabilidad. El flavor se percibe en el momento del consumo, desarrollándose ya antes de la introducción del alimento en la boca, durante la masticación, y durante y después de la deglución (Patterson, 1975).

El sabor depende de la carnosina, de los nucleótidos, de ciertos aminoácidos libres, de la acción de microorganismos, de la presencia de ácidos grasos libres y del grado de lipólisis de la carne. Gracias a diversos estudios (Hornstein y Wasserman, 1987; Miller, 1994) se sabe que los precursores del sabor en las carnes magras son solubles en agua, y que el principal papel en el desarrollo del característico flavor de la carne magra lo realiza una reacción no enzimática entre azúcares reductores y aminoácidos. Los lípidos probablemente contribuyen a las diferencias entre especies en virtud de su composición y sirviendo como reservorio de sustancias liposolubles olorosas o reactivas, que son características de las diferentes especies animales (Hornstein y Crowe, 1960, 1963; Wasserman y Talley, 1968; Wasserman y Spinelli, 1972; Moody, 1983; Smith y col., 1983; Cramer, 1983; Crouse, 1983). La coloración va asociada al sabor de la carne. La carne muy pálida puede considerarse insípida, y la muy oscura demasiado sávida (Carballo y Lopez de Torre, 1991).

La carne cruda fresca tiene un débil olor que ha sido descrito como recuerdo del ácido láctico comercial (Cross y col., 1986). La carne de animales más viejos ofrece un olor más fuerte que la de animales más jóvenes de la misma especie (Miller, 1994). En el verraco se produce ocasionalmente un acusado olor sexual (Patterson, 1968a, 1968b; Thompson, 1972); por otra parte, el intenso olor a cordero estaría ligado a la presencia de determinados ácidos grasos ramificados e insaturados (Wong, 1975).

La identificación de la especie sobre la base del flavor de la carne roja, en el bovino y en el ovino se efectúa, si se consume en caliente, sin dificultad; a la inversa, esta operación es mucho más difícil cuando se analizan carnes blancas de ternera, de cerdo o de aves. Esto es debido a que estas carnes son magras, con pocos lípidos intramusculares. La influencia del factor raza sobre el flavor es discutida. En el caso de los bovinos, diversos estudios muestran que no existen diferencias importantes en el flavor de la carne, considerando razas de carne o lecheras (Touraille y Girard, 1985). Parece que el sexo influye débilmente sobre el flavor del magro (Ford y Park, 1980; Seideman y col., 1982; Kirton y col., 1983), aunque en animales que han alcanzado la pubertad se observan diferencias significativas, debido a la presencia de olores sexuales originados por sustancias liposolubles. En los bovinos se señalan diferencias entre machos enteros y castrados, pero no tan claramente entre machos y hembras; lo mismo ocurre en los ovinos. Hay importantes diferencias individuales con respecto al flavor, todavía no bien conocidas y que podrían estar ligadas al genotipo, o también a la diferente susceptibilidad al estrés y, por lo tanto, al pH de la carne (Lawrie, 1966; Miller, 1994). Además de las diferencias características inherentes en los precursores del aroma entre las diferentes especies, el flavor final puede verse influido por la dieta del animal (Melton, 1983; Field y col., 1983), el estrés previo al sacrificio y los cambios de composición que tienen lugar en la carne durante la maduración y el procesado. La influencia de la alimentación sobre el flavor se considera fundamental (Melton, 1983; Field y col., 1983). La composición de las grasas corporales y, por lo tanto, el flavor, están íntimamente ligados, especialmente en los monogástricos, a la ración alimenticia. Raciones más energéticas irían acompañadas de un mayor engrasamiento y, por tanto, de sabores más intensos (Miller, 1994).

La temperatura y el tiempo de almacenamiento también influyen en el flavor. Temperaturas bajas, de unos -18°C , mantienen un flavor agradable durante cuatro veces más tiempo que las de -9 o -12°C . Todo ello depende del músculo y de la especie considerada. En general, a -18°C no existirían problemas hasta los 12 meses en bovino, 9 meses en ovino y 6 meses en porcino

(Prändl y col., 1994). El almacenamiento prolongado, especialmente en condiciones desfavorables, puede causar el desarrollo de aromas proteolíticos por la descomposición proteica, olores acres o pútridos por el crecimiento microbiano, u olores rancios por la oxidación de la grasa (Caul, 1957; Newton y Gill, 1980, 1981). Parece que los catadores empezarían a encontrar aromas extraños cuando los recuentos microbiológicos totales alcanzan valores de 10⁸ microorganismos/grano de carne (Price y Schweigert, 1994). Por otro lado, la velocidad de descongelación no parece tener influencias muy importantes sobre el flavor (Vanichseni y col., 1972).

El aroma de la carne cocinada es mucho más pronunciado que el de la carne cruda y se ve afectado por el método de cocinado, el tipo de carne y el tratamiento de la misma previo a su cocinado (Cross y col., 1986; Barton-Gade y col, 1988). Muchos de los olores de la carne cruda antes descritos pueden mantenerse en la carne cocinada, y de hecho algunos de ellos se pueden intensificar al calentar: por ejemplo, el olor sexual del cerdo es mucho más intenso durante el cocinado (Patterson, 1968a, 1968b; Thompson, 1972; Cross, 1994). En general, los métodos ultra rápidos, como el microondas, pueden liberar ocasionalmente compuestos que provocan olores desagradables. Temperaturas elevadas dan un mayor predominio de compuestos de Maillard con los consiguientes sabores a tostado (Cross y col., 1986).

2.3. Calidad de la grasa de cordero

La grasa animal es un componente mayoritario de la canal, superado sólo por el contenido en agua. El término grasa comprende usualmente todas las especies de lípidos incluyendo triglicéridos, fosfolípidos, esteroides y ésteres de esteroles.

La grasa es la forma energética más concentrada accesible a la vida animal. Siendo la vía natural de almacenamiento temporal de reservas de energía. Los animales acumulan lípidos durante los períodos de ingestión excesiva de alimentos y liberan ácidos grasos durante los períodos de ayuno.

Los lípidos se encuentran en el espacio intermuscular e intramuscular, en el tejido adiposo, en el tejido nervioso y en la sangre.

El tejido adiposo blanco es un tejido difuso que se acumula en una gran variedad de lugares o depósitos dentro del animal. En los animales domésticos, estos depósitos pueden diferenciarse según la disposición anatómica en aquellos de localización interna o cavitaria, y en aquellos propios de la canal.

La cantidad de grasa de cada depósito difiere según las especies (en porcino por ejemplo, existe más grasa subcutánea que en vacuno) e incluso dentro de cada especie, observándose como el ganado vacuno de aptitud lechera acumula predominantemente grasa interna, mientras que los animales de aptitud cárnica acumulan mayor cantidad de grasa subcutánea, también denominada grasa de cobertura (Lister, 1980). Así mismo, en todas las especies animales existe una relación positiva elevada entre la cantidad de grasa intramuscular o de infiltración y el de grasa total de la canal (López-Bote, 1992).

El tejido adiposo desempeña un importante papel metabólico en el mantenimiento del balance energético. Así mismo, los depósitos grasos cumplen funciones tan diversas como la protección tanto térmica como física de los diferentes órganos corporales y de la canal, o participan en el desarrollo del flavor característico de la carne de cada especie.

La grasa comprende alrededor del 76% del peso seco de tejido adiposo en los bovinos (Reiser, 1975) y del 73% (Reiser, 1975) al 86% (Cramer *et al.*, 1967) del peso seco del tejido adiposo del ovino maduro. Noble *et al.* (1971), obtuvieron valores extremos que oscilaron entre un 79% en los corderos neonatales y un 93% en el ovino maduro.

Otra característica de la grasa es su color y textura. En algunos casos pueden aparecer grasas blandas de textura aceitosa y coloración pardo amarillenta que son comercialmente depreciadas, ya que al corte las piezas presentan también una consistencia blanda como consecuencia de un deslizamiento entre los planos musculares (Arousseau, 1981; Prache *et al.*, 1990). Este problema puede incluso afectar a las características organolépticas (Bozzolo *et al.*, 1990), pues la aparición de sabores pronunciados a veces desagradables, está ligado a este carácter (Interbev, 1992).

Numerosos factores ligados a la aparición de grasa blanda han sido puestos en evidencia (Arousseau, 1981 y 1986), especialmente el grado de instauración elevado de sus ácidos grasos, que va asociado a un elevado contenido en agua (Paruelle y Pain, 1982).

En los corderos de tres meses son los factores alimenticios los que más afectan (Bozzolo *et al.*, 1992), estando ligados al empleo de raciones muy energéticas, ricas en almidón, que dan lugar a fermentaciones en el rumen de tipo propiónico, lo que unido a una carencia en vitamina B12, desborda la capacidad hepática para transformar el ácido metil-malónico en ácido succínico. Ello da lugar a una síntesis intensa de ácidos grasos ramificados e insaturados que son sensibles a la oxidación durante la conservación de la canal (Faustman *et al.*, 1989). Su acumulación en los tejidos adiposos es una causa de falta de firmeza del tejido graso externo (Aourousseau, 1986).

Diversas recomendaciones tanto de naturaleza técnica como alimentaria, han sido propuestas para corregir estos problemas, como son la edad del destete, el efecto de un racionamiento, la concentración energética, el nivel nitrogenado de la ración, la introducción de heno de alfalfa o pulpa de remolacha, y la naturaleza y forma de presentación de los cereales empleados (Van Quaeckebeke *et al.*, 1978; Cañeque *et al.*, 1990; Bozzolo *et al.*, 1992).

El tejido adiposo no solo es importante por sus caracteres cuantitativos, sino también por sus características cualitativas, por lo que es de interés también el estudio de los factores que contribuyen su variación. Así se ha demostrado que los ácidos grasos individualmente afectan en diferente proporción a la aparición de hipercolesterolemia (Hegsted *et al.*, 1965) y que las dietas ricas en grasa saturadas se asocian a un aumento de los niveles de colesterol en plasma (Keys *et al.*, 1986) aunque el mayor daño arterial, se produce por las lipoproteínas de baja densidad (LDL-colesterol). Un aumento en la proporción de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta con disminución de los saturados es una buena forma de reducir los niveles de colesterol en plasma (Schonfeld *et al.*, 1982).

El consumo de grasa en los países occidentales alcanza hasta un 40% del aporte de energía siendo aconsejable reducirlo a un 25-30%, asegurándose que la grasa saturada no aporte más de un 10% de la energía (Keys *et al.*, 1986). No es en cambio posible eliminar el consumo de grasa en su totalidad, ya que aparte de que todos los alimentos contienen grasa en mayor o menor proporción, es además necesaria, pues es la fuente principal de ácidos grasos esenciales y de vitaminas liposolubles.

Un sistema de etiquetado del tipo de grasa podría llegar a ser introducido en los alimentos indicando la grasa total, los ácidos grasos saturados y los ácidos grasos "trans" (COMA, 1984). En este sentido, la UE desde hace varios años está redactando propuestas sobre el etiquetado nutricional de los alimentos (Freckleton, 1987).

Aunque la carne de cordero no es un alimento que se consuma a diario, éste se realiza junto con las distintas grasas que forman parte de la pieza consumida, y por ello tiene un gran interés conocer el tipo de ácidos grasos que están presentes en los diferentes depósitos adiposos.

Los datos publicados señalan pocas diferencias en el contenido en colesterol de la carne magra del cordero, vacuno y porcino, no obstante algunos trabajos realizados en Nueva Zelanda (NSA, 1987) señalan un bajo contenido en colesterol del cordero. La raza, el sistema de explotación y el peso de sacrificio, sobre todo, son factores que van a contribuir a una mayor o menor presencia del mismo.

La grasa intramuscular no influye tanto en la calidad de la canal sino en la de la carne, teniendo un alto valor por su supuesta contribución al incremento del flavor, habiéndose demostrado que el flavor de la carne per se reside en su fracción soluble en agua, mientras que las características del flavor y aroma de las especies residen en su fracción lipídica (Hornstein *et al.*, 1967).

Otra contribución de los lípidos musculares a la calidad de la carne es la estabilidad frente a la oxidación, influyendo de gran manera en la formación de los sabores desagradables o también llamados “Warmed-over Flavor” o “WOF” (Pearson *et al.*, 1977). Los lípidos musculares también influyen en la jugosidad y, por tanto, en la ternura de la carne (Blumer, 1963; Pearson, 1966; Kinsella, 1988), así como en el color, puesto que el metabolismo más aeróbico de los músculos rojos u “oscuros” comparado con los músculos blancos o “luminosos” se asocia no sólo con mayores concentraciones de mioglobina, sino también con mayores proporciones de lípidos (Allen y Foegeding, 1981).

Esta fracción lipídica desde el punto de vista nutritivo también contribuye como una fuente de energía, provee nutrientes esenciales (ácidos grasos linoleico, C18:2 y linolénico, C18:3, y vitaminas A, D, E y K) y facilita la absorción de las vitaminas liposolubles (Beare-Rogers, 1988; Linschneer y Vergroesen, 1988).

El desarrollo de la grasa subcutánea se usa para juzgar el estado de engrasamiento del animal vivo y a su vez para determinar el estado de engrasamiento de la canal, pues junto con el color y la consistencia permiten clasificar las canales en graduaciones de calidad. Incluso es deseable una cubierta suficiente para prevenir la sequedad del músculo antes y durante el cocinado.

Características y distribución de los diferentes depósitos adiposos

En los animales adultos productores de carne, los principales depósitos adiposos son el subcutáneo, el intermuscular, el intramuscular, el cavitario (incluyendo el pélvico y el renal) y el visceral (incluyendo el pericárdico, el omental o epiplóico y el mesentérico). La descripción de éstos depósitos se detalla a continuación:

- Subcutáneo: localizado tendido sobre la parte muscular del cuerpo justo debajo de la piel.
- Intermuscular: tendido entre los músculos individuales y estando en mayor cantidad a lo largo de las rutas tomadas por los grandes vasos sanguíneos y los nervios.
- Intramuscular (interfascicular o de marmóreo), localizado entre la fibras musculares.
- Cavitario: Perirrenal (perinefrítico o renal), alrededor del riñón y formando un depósito sobre la capa interna del lomo Pélvico, a ésta grasa también se la denomina “del canal”, y esta distribuido en la cavidad pélvica.
- Visceral: Omental, algunas veces referido como “caul”, por su apariencia como una malla, y que está extendida sobre los estómagos. Mesentérico, acumulable alrededor del mesentéreo de los intestinos. Pericárdico, tendido alrededor del corazón.

Cada uno de estos depósitos constituye un estado dinámico jugando un importante y continuo papel en el metabolismo energético (Fritz *et al.*, 1958). Por lo tanto, la naturaleza y extensión de los depósitos grasos pueden relacionarse vitalmente con la capacidad del animal para soportar las condiciones ambientales adversas (Martín *et al.*, 1972).

La grasa subcutánea e intermuscular son inicialmente de alto valor cuando los depósitos son relativamente pequeños, pero el valor decrece rápidamente cuando la deposición excede del óptimo, mientras que los depósitos dentro de la cavidad corporal son de escaso valor. La grasa pélvica y la renal conforman así la llamada grasa pelvicorrenal, cuya cantidad es evaluada como atributo para la clasificación comercial de la canal.

Tanto la cantidad como la composición del tejido adiposo puede variar en función de la especie animal, la edad, el sexo, el régimen alimenticio, la localización anatómica y el entorno medioambiental (Kempster, 1981b). La distribución relativa del tejido adiposo varía entre especies, y en los animales productores de carne la distribución y cantidad de la grasa son importantes en la determinación de la calidad de la canal.

2.3.1. Parámetros que definen la calidad de la grasa

2.3.1.1. Composición química de la grasa animal

La grasa de origen animal está constituida por un conjunto de moléculas orgánicas (lípidos) insolubles en agua que se pueden extraer de los tejidos y de las células mediante disolventes no polares. Los lípidos se pueden clasificar en función de la estructura de su esqueleto, encontrando por una parte estructuras complejas que incluyen ácidos grasos en su molécula y que se denominan lípidos saponificables, ya que pueden producir jabones, y por otra, estructuras sencillas que no contienen ácidos grasos y que por lo tanto no son saponificables (Lehninger, 1981).

Estructura de los Lípidos

Los depósitos grasos de origen animal están constituidos fundamentalmente por una clase de lípidos complejos denominados glicéridos, que resultan de la esterificación de una molécula de glicerol con uno (monoglicérido), dos (diglicérido) o tres (triglicérido) ácidos grasos. Los triglicéridos constituyen la familia más abundante de los lípidos y son los principales componentes de los depósitos grasos de reserva de los animales. Comúnmente, los triglicéridos que permanecen en estado sólido a temperatura ambiente (de elevado punto de fusión) se les denomina “grasas”, y a los que se presentan en estado líquido a esta temperatura se les denomina “aceites”.

A su vez, los triglicéridos pueden incluir el mismo ácido graso esterificando la molécula de glicerol y reciben el nombre de triglicéridos simples o incluir dos o tres ácidos grasos diferentes dando lugar a la formación de triglicéridos mixtos. Tanto el tipo de ácido graso como la localización de los mismos en la molécula de glicerol confiere a la grasa propiedades diferentes

en cuanto al grado de fusión de la misma (Lehninger, 1981). La mayor parte de las grasas naturales están formadas por mezclas complejas de triglicéridos simples y mixtos.

El punto de fusión de la grasa aumenta en general con la longitud de la cadena de los ácidos grasos; así mismo, éste es mayor en los ácidos grasos de naturaleza saturada que en los insaturados. Todos los triglicéridos son prácticamente insolubles en agua, mientras que los mono y diglicéridos gracias a sus grupos hidroxilo libres presentan cierta polaridad y tienden a formar micelas, lo que les confiere funciones emulsionantes (Lehninger, 1981).

La segunda gran clase de lípidos complejos son los fosfolípidos. Estas moléculas están constituidas por un grupo glicerol esterificado con el ácido fosfórico y el resto de la molécula con ácidos grasos fundamentalmente insaturados (Allen y Foegeding, 1981; Wood, 1984). Los fosfolípidos puros son blancos y de consistencia cerosa, no obstante por acción del calor y del oxígeno se oscurecen y experimentan cambios complejos a causa de la oxidación de sus ácidos grasos. Esta predisposición a la oxidación contribuye a la aparición de compuestos volátiles responsables del aroma de la carne (Rhee *et al.*, 1988). Los fosfolípidos presentan alto contenido de ácidos linoleico (C18:2) y araquidónico (C20:4) y principalmente se encuentran formando parte de las membranas de las células tanto musculares como de los adipositos (Christie, 1981; Rule *et al.*, 1994).

Estructura de los Ácidos Grasos

Los ácidos grasos difieren entre sí en el número de átomos de carbono constituyentes de la cadena y en el número y posición de sus dobles enlaces (L'Estrange y Mulvihill, 1975). Los ácidos grasos más abundantes en la grasa de origen animal presentan un número par de átomos de carbono y de longitud comprendida entre 14 y 22 átomos de carbono, siendo los más abundantes los de 16 y 18 átomos de carbono. Normalmente, los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados se presentan en la configuración *cis*, siendo menos frecuente la configuración *trans*.

Los ácidos grasos saturados mayoritarios en la grasa de origen animal son los ácidos laúrico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y araquídico (C20:0). Los ácidos grasos monoinsaturados más importantes cuantitativamente son los ácidos palmítoleico (C16:1)

y oleico (C18:1) y de los poliinsaturados, los ácidos linoleico (C18:2), linoleico (C18:3) y araquidónico (C20:4). Los ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono mayoritarios en la grasa animal son el pentadecanoico (C15:0) y el heptadecanoico (C17:0) (Body, 1988). En general, los ácidos grasos saturados y monoinsaturados son los mayoritarios en la carne de los animales domésticos, siendo el ácido oleico el mayoritario en la carne de cordero (aproximadamente el 40% del total) (Lough *et al.*, 1992; Solomon *et al.*, 1992).

Los monogástricos acumulan en los depósitos grasos importantes cantidades de los ácidos grasos esenciales linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3) procedentes de la dieta. En el caso de los rumiantes, el origen de estos ácidos grasos también es exógeno, pero su hidrogenación por los microorganismos del rumen conduce a un incremento en el contenido de ácido esteárico (C18:0) (Smith, 1993; Huerta-Leindez *et al.*, 1991; Cobos *et al.*, 1994). La presencia de los ácidos grasos insaturados cis-14:1, cis-16:1, cis- 17:1 y cis-18:1 está directamente relacionada con la actividad del complejo enzimático Δ -desaturasa (Thompson *et al.*, 1973), que sintetiza ácidos grasos insaturados a partir de las correspondientes cadenas carbonadas saturadas de igual número de átomos de carbono. La actividad de dicha enzima ha sido puesta de manifiesto en ganado ovino por Jackson y Winkler (1970) al comprobar que en el hígado y en la grasa subcutánea la relación ácido oleico/esteárico se incrementaba con el aumento del estado de engrasamiento de los corderos.

Ácidos Grasos Deseables

La cantidad y la composición de la grasa asociada a la carne es uno de los criterios que discriminan la aceptabilidad de la misma (Cramer, 1962). Un exceso de grasa de origen animal se relaciona habitualmente con efectos negativos para la salud humana (enfermedades cardiovasculares, obesidad, cáncer, etc.) (Cobos *et al.*, 1994). No obstante, recientemente se ha sugerido que estas afirmaciones son demasiado simplistas y así German (1990) señala que no todas las grasas de origen animal son metabólicamente equivalentes y que algunos lípidos animales son de hecho potencialmente beneficiosos para la salud humana.

Diversos autores coinciden en que la ingestión de ácidos grasos de naturaleza saturada está relacionada con el incremento de los niveles de colesterol sérico en sangre (Castelli *et al.*, 1977; Avogaro *et al.*, 1979). Sin embargo, los ácidos grasos saturados de menos de 12 átomos de

carbono no tienen efecto sobre los niveles de dicho colesterol, mientras que los ácidos grasos de naturaleza saturada de 14 o 16 átomos de carbono resultan ser hipercolesterolémicos (Smith, 1991). Bonanone y Grundy (1987) añaden que el ácido graso saturado de 18 átomos de carbono (esteárico) no afecta a los niveles de colesterol en sangre ya que por acción de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa se convierte en ácido oleico (monoinsaturado), contribuyendo incluso a la disminución del contenido de lipoproteínas de baja densidad (LDL), que están asociadas a las enfermedades cardiovasculares (Wieland *et al.*, 1980).

La presencia de ácidos grasos insaturados en la grasa de los animales favorece por una parte la reducción de incidencia de enfermedades coronarias y por otra mejora las propiedades sensoriales de la carne (Rhee *et al.*, 1990 a; b; Shackelford *et al.*, 1990; Ziprin *et al.*, 1990). Huerta-Leindez *et al.* (1993) agrupan bajo el término “ácidos grasos deseables” a aquellos que tienen efecto neutro o hipocolesterolémico sobre la salud humana, e incluyen en este grupo a los ácidos grasos de naturaleza insaturada y al ácido esteárico (C18:0).

Los ácidos grasos mono y poliinsaturados se consideran ácidos grasos deseables para la salud humana ya que están relacionados con bajos niveles de colesterol en sangre (Rose, 1990). Los ácidos grasos saturados incrementan la presencia de las LDL (lipoproteínas de baja densidad) en el suero asociadas a la aparición de enfermedades coronarias. Los ácidos grasos poliinsaturados reducen los niveles de LDL mientras que los ácidos grasos monoinsaturados reducen los niveles de LDL sin afectar a los de HDL (lipoproteínas de alta densidad) no asociadas con la aparición de enfermedades cardiovasculares (Smith, 1993).

Importancia de la Grasa en el Aroma de la Carne

La presencia de grasa en la carne (grasa intramuscular) está asociada con la aceptabilidad de la misma desde el momento en que la grasa participa en el aroma y en la jugosidad de la carne. La grasa parece ser para la mayoría de los autores la responsable del desarrollo del flavor característico de la carne en cada especie animal (Chang *et al.*, 1980; Van den Ouweland y Swaine, 1980; Brennand y Linday, 1982). No obstante, se han desarrollado otras hipótesis para explicar la aparición del flavor característico de cada especie animal. Así, Mc Leod y Seyyedain-Ardebili (1981), apuntaron que cualquier compuesto (lipídico o no) puede ser responsable de las diferencias en el flavor entre especies y que estos compuestos se encuentran en la grasa intramuscular en cantidad suficiente para definir el aroma característico de la carne de una especie determinada. Para otros autores, los precursores del flavor característico de cada especie están presentes en el músculo en cantidades pequeñas (aminoácidos y carbohidratos) y son transportados hasta los depósitos de grasa intramuscular más cercanos donde se acumulan en cantidad suficiente contribuyendo al flavor de la carne (Wasserman y Spinelli, 1972).

La carne cocinada de cordero tiene un flavor muy característico, que si es muy intenso, supone motivo de rechazo por parte del consumidor. Entre los compuestos responsables del aroma de la carne de cordero se encuentran compuestos volátiles (alcanos, aldehídos, cetonas, alcoholes y lactosas) derivados de la oxidación de los ácidos grasos de naturaleza insaturada y derivados azufrados (Caporaso *et al.*, 1977), así como cadenas ramificadas e insaturadas de ácidos grasos de 8 a 10 átomos de carbono (ácido 4 metiloctanoico y ácido 4 metilnonanoico) (Johnson *et al.*, 1977; Bailey *et al.*, 1982). Aunque cualitativamente muchos de los compuestos volátiles responsables del aroma presentes en la carne de diferentes especies son similares, existen importantes diferencias cuantitativas que pueden determinar un aroma característico de la especie (Hornstein *et al.*, 1967).

El reducido contenido de azúcar de la carne de cordero respecto a otras especies domésticas (porcino, vacuno y caballo) explica que durante el cocinado, los aminoácidos de la carne no reaccionen con el azúcar (reacción de Maillard), sino que se degraden produciendo amoníaco mediante reacciones de desaminación, confiriendo a la carne aroma a tostado o asado más que a carne cocida.

La aparición del aroma intenso de la carne de cordero es posiblemente consecuencia de la reacción entre precursores localizados en los depósitos grasos y de productos de la degradación térmica del músculo en el momento del cocinado, o incluso de derivados del azufre (H₂S) que se encuentran almacenados en el tejido graso (cistinas, cisteína, tiamina, etc.) y que son necesarios para el crecimiento de la lana (Cramer, 1983).

Allen (1970) y Terrell *et al.* (1968) no encontraron relación entre la composición en ácidos grasos de la grasa subcutánea e intramuscular y el flavor de la carne de cordero, mientras que Dryden y Marchello (1970) hallaron una correlación aceptable entre el contenido de ácido oleico (C18:1) de la grasa del depósito intramuscular y la intensidad de flavor de la carne de ganado bovino, señalando que en el músculo *Longissimus dorsi* los altos contenidos de ácido oleico eran valorados positivamente por los panelistas; por contra, los contenidos en ácido mirístico (C14:0) y parmítico (C16:0) lo eran negativamente (Westerling y Hedrick, 1979).

Los ácidos grasos poliinsaturados pueden provocar excesivo ablandamiento de la carne (Myer *et al.*, 1992), lo que proporciona una mala apariencia a las canales y una reducida conservabilidad de la misma (Ouhayoun *et al.*, 1987). Así mismo, la susceptibilidad de los ácidos grasos poliinsaturados a la oxidación, produce ciertos productos que a bajas concentraciones son necesarios para las propiedades aromáticas de la carne, como pueden ser los compuestos de tipo carbonilo (aldehídos y cetonas), hidrocarburos y ácidos carboxílicos de cadena corta principalmente; no obstante, su concentración elevada se traduce en aromas desagradables (“warmed-over flavor”), por lo que disminuye la aceptabilidad de la carne desde el punto de vista sensorial y dietético (Mazhar *et al.*, 1990; Miller *et al.*, 1990a; Shackelford *et al.*, 1990).

2.3.1.2. Color de la grasa

La mayoría de los autores están de acuerdo en que el color de la grasa se debe fundamentalmente a la alimentación recibida y que los pigmentos responsables del color de la misma son básicamente las xantofilas y los carotenos (Kirton *et al.*, 1975; Forrest, 1981). No obstante, la especie ovina no acumula grandes cantidades de estos pigmentos y por ello su grasa presenta coloración más blanca que por ejemplo la procedente del ganado bovino.

Ambos pigmentos se encuentran fundamentalmente en el forraje suministrado a los rumiantes, y en menor medida en el alimento concentrado, por lo que el acabado con pienso concentrado

parece ser aconsejable para la producción del tipo de canales que el consumidor valora positivamente y que se caracterizan por la ausencia de coloración intensa de la grasa (Morgan y Everit, 1969).

El color blanco de la grasa caracteriza a la categoría Lechal, el blanco cremoso-cremoso al ternasco, el cremoso-amarillento al pascual, y el amarillento al ovino mayor (Delfa, 1992).

2.3.2. Factores que afectan a la calidad de la grasa

Diversos factores afectan a la calidad de las grasas, pudiéndose dividir en intrínsecos como edad y peso, sexo, raza, especie y posición anatómica y en extrínsecos como son la dieta, estación del año...

2.3.2.1. Factores intrínsecos

2.3.2.1.1. Edad y peso

La composición en ácidos grasos de los depósitos adiposos varía en función de la edad de los animales aunque resultados diferentes y contradictorios pueden ser observados según el tipo de animal y las condiciones en que son criados.

Los corderos recién nacidos muestran una deficiencia bioquímica clásica de ácidos grasos esenciales (Moore y Noble, 1975; Palmquist *et al.*, 1977). Esto puede ser como consecuencia de la extensa biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos poliinsaturados de la dieta de la madre (Viviani, 1970), por lo que se produce una pequeña absorción de ácidos grasos esenciales. Los corderos lactantes presentan a su vez un contenido total en ácidos grasos poliinsaturados de 18 átomos de carbono reducido.

Los terneros al nacimiento contienen muy poco tejido adiposo (<4%) (Johson *et al.*, 1973) derivado principalmente de la síntesis endógena. Los depósitos grasos de estos animales están caracterizados por un alto porcentaje (35%) de ácido palmítico (C16:0) (Dahl, 1962; Garton y Duncan, 1969), siendo los otros principales ácidos grasos, el oleico (C18:1) (40-50%) y el ácido esteárico (C18:0) (6-10%).

Por comparación, los depósitos grasos de los ovinos recién nacidos contienen menos ácido palmítico (C16:0) (20-23%) y más ácido esteárico (C18:0) (13-17%) (Leat, 1976). En los depósitos grasos y otros tejidos de los rumiantes recién nacidos no se deposita mucho ácido linoleico (C18:2), puesto que únicamente cantidades inapreciables de éste ácido graso cruzan la placenta (Leat, 1966).

El contenido en ácidos grasos de cadena impar de átomos de carbono se incrementa por la síntesis de novo que tiene lugar por la actividad de los microorganismos del rumen (Johnson *et al.*, 1988). Así los corderos lechales apenas presentan ácidos grasos de cadena impar de átomos de carbono, mientras que la proporción de dichos ácidos se incrementa cuando comienza la actividad del rumen tras el destete (Sauvant *et al.*, 1979).

Los ovinos adultos presentan mayor contenido de ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) que los más jóvenes (Friend *et al.* 1983). Así mismo Semlek y Riley (1975) han encontrado en el depósito pelviorrenal de corderos en crecimiento, un aumento del contenido en ácido esteárico de un 30%, desde las etapas neonatales hasta los 4-5 meses de edad, como consecuencia de la puesta en funcionamiento de la actividad ruminal. Leat y Cox (1980) señalan que en los depósitos grasos de ovinos adultos existen elevados niveles de ácido esteárico (C18:0), constituyendo los ácidos grasos insaturados de 18 átomos de carbono más del 40% del total de ácidos grasos (Noble *et al.*, 1970).

Bengasaun y Reid (1965) observaron en el depósito subcutáneo de ganado ovino que el incremento de peso de los corderos, estaba correlacionado con la disminución de la firmeza de la grasa y el aumento del contenido de ácido oleico (C18:1). Así mismo, el aumento del valor del índice de yodo observado se correlacionaba positivamente con la evolución del estado de engrasamiento que acompaña al incremento de peso, ya que el incremento del contenido de grasa era consecuencia del aumento del número de adipocitos y con ellos la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados de los fosfolípidos presentes en las membranas de los mismos (Dryden *et al.*, 1973).

Después del nacimiento, el porcentaje de ácido esteárico (C18:0) en la grasa perinefrítica del vacuno se incrementa gradualmente cuando el rumen empieza a funcionar, hasta alcanzar valores máximos alrededor del año de edad (Leat, 1975). Esto es debido ciertamente a la deposición de ácido esteárico (C18:0) formado por hidrogenación en el rumen. Sin embargo,

después de un año de edad, el porcentaje de ácido esteárico (C18:0) gradualmente desciende, siendo reemplazado por el ácido oleico (C18:1).

En el caso de la grasa intramuscular se ha comprobado (Link *et al.*,1970) una disminución en la proporción de fosfolípidos (referido a la cantidad total de lípidos) al aumentar el contenido total en lípidos del músculo, o sea, que el contenido en fosfolípidos permanece constante mientras que el de lípidos totales aumenta con la edad y el peso, al aumentar el estado de engrasamiento del animal.

2.3.2.1.2. Sexo

El efecto de un metabolismo diferente según el sexo se traduce en variaciones a nivel de la composición en ácidos grasos, tanto en los lípidos de reserva como en los estructurales. En los ovinos el sexo constituye un factor de variación importante de la composición de los ácidos grasos del tejido adiposo.

En las hembras el contenido en ácidos grasos saturados es más elevado que en los machos (Molénat y Thériez, 1973) como consecuencia de una mayor proporción de ácido esteárico (C18:0). También Wood (1984) y Solomon *et al.* (1980), observaron que los corderos machos poseen una grasa más insaturada que las hembras, con un punto de fusión más bajo y, por tanto, una grasa más blanda, un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados – linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3)- y un menor contenido de saturados – esteárico (C18:0) y palmítico (C16:0).

Sin embargo, Campo *et al.* (1995) en corderos de tipo ternasco de raza Rasa Aragonesa, observaron que la grasa subcutánea de las hembras presenta mayor contenido de ácidos grasos insaturados. También Kemp *et al.* (1981) observaron que la grasa subcutánea de los corderos machos (Hampshire x Suffolk x Rambouillet) presentó menor contenido en ácidos grasos insaturados que las hembras.

Solomon *et al.* (1990) al comparar corderos castrados con enteros, observó que los enteros presentaban una mayor cantidad de poliinsaturados totales en el músculo *Longissimus dorsi* (7.06%) que los castrados (5.21%) debido a un mayor acúmulo de ácidos linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquidónico (C20:4) y oleico (C18:1).

Para las diferentes localizaciones de los depósitos grasos también existen variaciones debidas al sexo, siendo las diferencias más acusadas en el depósito subcutáneo que en el intramuscular. Así Kemp *et al.* (1981) observaron que las diferencias totales en la insaturación de los ácidos grasos debidas al sexo fueron más bajas para la grasa intramuscular que para las grasas pelviorrenal y subcutánea. En la pelviorrenal los machos enteros tuvieron más ácido oleico (C18:1) y linolénico (C18:3) y, por tanto, más insaturados totales (51.7% frente a 53.4%) que los castrados; en la subcutánea las hembras tuvieron más ácido oleico (C18:1) y más insaturados totales que los castrados y éstos a su vez más ácido esteárico (C18:0) y menos palmitoleico (C16:1) que los enteros.

Allen (1970) no encontró diferencias significativas en la composición de la grasa del depósito intramuscular de los corderos de raza Suffolk mientras que en el depósito subcutáneo observó que los machos enteros presentaron más ácido mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) que los machos castrados y dicha grasa fue más fluida que en las hembras.

En cambio, en el vacuno castrado se produce un incremento de la insaturación de la grasa de depósito (Dahl, 1962), y las hembras tienen más grasa insaturada que los machos (Leat, 1977). Sin embargo, estas diferencias no pueden relacionarse con un efecto directo de las hormonas sexuales, pero sí indirectamente a través de la cantidad de grasa del animal. En general, las hembras son más grasas que los machos y se sabe que la insaturación de la grasa de depósito se incrementa cuando aumenta la deposición de la grasa.

2.3.2.1.3. Raza

Aunque el origen genético parece tener influencia en la cantidad de lípidos depositados, tiene poco efecto sobre la composición en ácidos grasos de los porcinos (Henry, 1972), de los bovinos (Flanzy, 1972; Jones *et al.*, 1981) y de las aves (Edwards *et al.*, 1973).

Los efectos de la raza sobre la composición en ácidos grasos en los diferentes depósitos grasos de la canal de los rumiantes, han sido estudiados ampliamente, mostrando sólo ligeras diferencias. Boylan *et al.* (1976), encontraron diferencias significativas en distintas razas ovinas en la composición en ácidos grasos de la grasa subcutánea. Palanska *et al.* (1994) también encontraron diferencias entre una raza mejorada y una rústica en cuanto a la insaturación de la grasa intramuscular, siendo más insaturada la raza rústica. La precocidad de una raza también

parece influir en la saturación de la grasa, siendo las razas más precoces las que presentan un mayor nivel de engrasamiento y, por tanto, una mayor insaturación (L'Estrange, 1980; Wood, 1984).

Cuando se estudió el perfil de ácidos grasos del depósito subcutáneo de las razas ovinas Sarakatsaniko y Karagouniko, todos los ácidos presentaron diferencias significativas entre ambas razas ($p < 0.01$) a excepción de los ácidos palmítico (C16:0) y palmitoleico (C16:1) y el total de ácidos grasos insaturados (Zygoiannis *et al.*, 1985). Sin embargo, el contenido de ácido palmítico (C16:0) diferenciaba la composición de la grasa subcutánea de los corderos de raza Merina y Dopers, observándose que la Merina era más rica en dicho ácido graso y que esta diferencia era más acusada con el aumento del peso vivo de los corderos (Weeb *et al.*, 1994).

2.3.2.1.4. Especie

El perfil de ácidos grasos varía ampliamente entre las especies de los animales productores de carne y constituye a menudo una característica de las mismas. Sin embargo, los lípidos que forman parte de las membranas celulares, a diferencia de las de reserva, apenas se diferencian entre las distintas especies (German 1990).

El National Livestock and Meat Board (NLSMB), recoge la composición en ácidos grasos de la carne magra (depósito intramuscular) de diferentes especies de animales de consumo (Tabla 2.9.). Se observa que el vacuno presenta el mayor porcentaje de ácidos grasos saturados (44.79%) así como el más bajo de poliinsaturados (4.75%) mientras que el cerdo y el pollo presentan el menor contenido en ácidos grasos saturados (38.3 y 36.26% respectivamente) lo que coincide con lo señalado por Touraille y Girard (1985). La carne de pollo presenta en cambio un mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados que las carnes rojas como también señala Rhee (1992).

En general los rumiantes presentan una grasa más saturada que los monogástricos debido principalmente a la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados de la dieta hacia los correspondientes saturados lo que está ligado a la actividad de los microorganismos ruminales (Smith, 1993). También la proporción de ácidos grasos impares y/o ramificados es más importante en los rumiantes que en otras especies ya que son sintetizados por los microorganismos de su aparato digestivo.

2.3.2.1.5. Posición anatómica

Tanto en los rumiantes como en el ganado porcino, la grasa de los depósitos internos (omental, mesentérica y pelvicorrenal) se caracteriza por ser más saturada que la que constituye los depósitos relacionados directamente con la calidad de la carne (subcutánea e intramuscular) (Rumsey *et al.*, 1977; St. John *et al.*, 1987). Algunos autores han sugerido que estas diferencias son debidas al gradiente de temperatura corporal, localizándose la grasa con elevado punto de fusión (saturada) en los depósitos internos, donde la temperatura corporal es más elevada (Marchello *et al.*, 1967). Otros señalan que las diferencias pueden ser debidas tanto a la propia función del depósito como al momento de deposición del mismo durante el crecimiento y desarrollo (Terrell *et al.*, 1969).

En los rumiantes, la composición de ácidos grasos de la grasa subcutánea varía con la distancia a la piel y normalmente, pero no invariablemente, hay un gradiente de insaturación con la capa de grasa más profunda, siendo de consistencia más firme, más saturada y con mayor contenido de ácido esteárico (C18:0) que la localizada inmediatamente subcutánea (Leat, 1975). También, Girard (1986) encontró un gradiente positivo de insaturación del centro de la canal a la periferia. La localización anatómica y la temperatura del depósito influyen en la consistencia de la canal, siendo importantes las diferencias en la composición de ácidos grasos de la fracción lipídica.

Entre los ácidos grasos mayoritarios, parece ser que la concentración de ácido esteárico (C18:0) es el que más afecta a la consistencia de la grasa subcutánea, observándose una alta correlación entre éste ácido graso y el punto de fusión. En cambio, el ácido oleico (C18:1), insaturado que se encuentra en mayor proporción en la grasa, se correlaciona escasamente con la consistencia. Sin embargo, el linolénico (C18:3), que se encuentra en una proporción inferior, tiene un marcado efecto en dicha característica, observándose una correlación negativa entre su concentración y el punto de fusión (Wood, 1984).

Los ácidos grasos palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1) y esteárico (C16:0) contribuyen a las mayores diferencias observadas en la composición en ácidos grasos entre los distintos depósitos grasos, por lo que diversos autores han vinculado las características de la grasa de los diferentes depósitos con la presencia de determinados ácidos grasos. Así, Kemp *et al.* (1981) observaron que la grasa pelvicorrenal de corderos tuvo más ácido esteárico (C18:0) y menos oleico (C18:1) que la grasa subcutánea, y la intramuscular tuvo la menor cantidad de ácido esteárico (C18:0).

En el vacuno, ovino y caprino, la proporción de ácido esteárico (C18:0) se incrementa y la proporción de ácido palmitoleico (C16:1) decrece con el incremento de espesor de la grasa subcutánea. En el ovino, la proporción de ácido oleico (C18:1) decrece con el aumento de espesor, mientras que en el vacuno, el porcentaje de ácido oleico (C18:1) tiende a incrementarse en las capas más profundas. Las capas más delgadas de grasa subcutánea son menos saturadas que la grasa intermuscular, la cual es en cambio menos saturada que la grasa perinefrítica. Cortes de carne que contengan grasa subcutánea tenderán a ser menos saturadas que las que contengan más grasa intermuscular.

En el caso de los corderos se ha observado que la grasa intramuscular (rica en fosfolípidos) es más insaturada que la procedente del resto de los depósitos de la canal (Pearson *et al.*, 1977, Eichborn *et al.*, 1986). García *et al.* (1995) encontraron en corderos lechales Merinos de 10.4 Kg de peso vivo una composición muy similar entre diferentes músculos, considerando la misma proporción de grasa intramuscular. Encontraron además una elevada cantidad de ácido linoleico (C18:2) comparado con otros lípidos intramusculares de rumiantes (García y Casal, 1992).

2.3.2.2. Factores extrínsecos

2.3.2.2.1. Alimentación

El tipo de grasa de la dieta constituye la mayor fuente de variación en la composición en ácidos grasos de los lípidos de depósito, de forma particular en los animales monogástricos. La concentración de un ácido graso en la canal y la carne no sólo está influida por la cantidad de dicho ácido graso en la dieta, sino también por las tasas de otros ácidos grasos, tanto de la dieta, como de origen endógeno (Cobos *et al.*, 1994).

Puesto que los ácidos grasos de la dieta son hidrogenados en el rumen, la composición de ácidos grasos de los depósitos grasos de los rumiantes no están relativamente afectados por las alteraciones de la grasa de la dieta. Así, la alimentación con aceites insaturados en los rumiantes tiene poco efecto o ninguno sobre la composición en ácidos grasos en su tejido adiposo (Dryden *et al.*, 1973).

Sin embargo, si los ácidos grasos poliinsaturados llegan al lugar de absorción, son absorbidos y depositados como en los animales no rumiantes. Esto ocurre, por ejemplo, en los animales

lactantes cuando el reflejo de la gotera esofágica permite que los lípidos de la dieta pasen el rumen y entren al abomaso directamente, siendo una forma de incrementar los ácidos grasos poliinsaturados de la canal y de la carne, al añadirlo en forma de sustitutos lácteos (Connoly, 1974).

Así, Wright *et al.* (1977), al alimentar a corderos lactantes con aceite de girasol encontraron incrementos significativos en el nivel de ácido linoleico (C18:2) en la grasa subcutánea, en la perinefrítica y en la intramuscular, acompañado por disminuciones de los ácidos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y linolénico (C18:3). También Solomon *et al.* (1992) notaron que alimentando a los corderos con aceite de palma, rico en ácido palmítico (C16:0), se depositaba una grasa subcutánea más blanca, más firme y más seca, lo que es indicativo de un mayor grado de saturación.

Diversos autores (Sutton, 1980; Payne y Rattray, 1980) señalan que la composición del forraje y concentrado aportado a las madres en lactación es el factor que incide en mayor medida en el contenido en ácidos grasos de la leche. El perfil de ácidos grasos de los depósitos grasos en animales prerrumiantes es un fiel reflejo de la composición en ácidos grasos de la dieta láctea recibida especialmente rica en ácidos grasos de cadena corta y media (laúrico (C12:0) y mirístico (C14:0)) (Body, 1988; Pérez *et al.*, 1989). Así mismo Christie (1978), destaca el elevado contenido en ácidos grasos de cadena impar de átomos de carbono presentes en la leche de las hembras rumiantes.

En los rumiantes adultos, bajo condiciones normales de manejo, sólo unas pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados de la dieta llegan al intestino delgado. Sin embargo, se ha encontrado que aumentando la proporción de concentrado o de cereales en la ración aumenta el nivel de insaturación de los depósitos gracias a modificaciones de las reacciones bioquímicas en el rumen (Aurosseau, 1981). Es así como ciertos ácidos grasos poliinsaturados pueden escapar al fenómeno de hidrogenación que tiene lugar a nivel del rumen, encontrándose incorporados en los lípidos de estructura de los microorganismos. Los ácidos grasos poliinsaturados así protegidos pueden entonces fijarse en los tejidos. Aunque este fenómeno es poco importante en los bovinos es más marcado en el ovino.

Otra forma de enriquecer la canal con ácidos grasos poliinsaturados es protegiendo los ácidos grasos de la dieta de la hidrogenación al recubrirlos con proteína tratada con formaldehído. Así

considerables cantidades de ácidos grasos insaturados de la dieta son incorporados a los depósitos grasos de los rumiantes, particularmente en los animales jóvenes (McDonald y Scoot, 1977).

La proporción de concentrado y forraje en la dieta no solo modifica la proporción de tejido adiposo sino que puede tener un efecto en la composición de ácidos grasos de los depósitos grasos (Wood, 1984; Botkin *et al.*, 1988).

Se observa que un aumento en la proporción de concentrado en la dieta incrementa los niveles de propionato en el rumen y con ello la síntesis de ácidos grasos de cadena impar de átomos de carbono, así como de cadenas ramificadas (Rule *et al.*, 1991; Field *et al.*, 1992).

El incremento del plano de alimentación aumenta la deposición de grasa de naturaleza insaturada (aumento de ácido oleico (C18:1) y disminución de los ácidos palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0)) (Wood *et al.* 1991). Así mismo, Bengasaun y Reid (1965) observaron que existía correlación positiva entre la ingesta de alimento concentrado ad libitum y el porcentaje de ácido oleico (C18:1) en el depósito subcutáneo de los corderos. Vimini *et al.* (1984) y Webb *et al.* (1994) añaden que las dietas ricas en energía incrementan el contenido de ácidos grasos insaturados en la carne, mejorando la intensidad de flavor de la misma.

Field *et al.* (1992) encontraron que al alimentar con altos niveles de maíz a los corderos, se producía una grasa más blanda y aceitosa, con altos niveles de ácido oleico (C18:1), de ácido linoleico (C18:2) y más bajos niveles de ácido linolénico (C18:3) que los alimentados con alfalfa. La mejora de la velocidad de crecimiento de los corderos criados en aprisco mediante la distribución de alimentos ricos en concentrado va acompañado de un aumento en la proporción de este efecto (Paruelle y Pain, 1982).

También Garton *et al.* (1972) y Busboom *et al.* (1981) comprobaron que al alimentar con dietas de cereal a ovino y caprino se puede producir un ablandamiento de los depósitos grasos subcutáneos, causado por la deposición de cantidades inusualmente altas de ácidos grasos de cadena ramificada, los cuales tienen puntos de fusión más bajos que los ácidos grasos normales de cadena recta. Estos ácidos grasos de cadena ramificada derivan del ácido metilmalónico formado de las grandes cantidades de ácido propiónico producido en el rumen cuando los animales son alimentados con dietas concentradas.

El vacuno, sin embargo, difiere del ovino y caprino, puesto que una alimentación predominantemente con cereal en la dieta produce un incremento en la deposición de ácidos monoenoicos más que ácidos grasos de cadena ramificada (Leat, 1977).

Por otra parte la dieta rica en forraje estimula la actividad ruminal y consecuentemente la biohidrogenación de los ácidos grasos elevando la concentración de los de naturaleza saturada (Kemp *et al.*, 1981) principalmente a través de un incremento en el porcentaje de ácido palmítico (C16:0) (Leat, 1977). En este sentido los estudios realizados por Valderrábano y Folch (1984) indican que la grasa depositada en los corderos criados en pradera (*Lolium multiflorum*) es más consistente que aquella depositada en corderos alimentados con pienso concentrado (cebada, maíz, soja). También Miller *et al.* (1967) señalaron que una dieta alta en forraje produce un elevado nivel de ácido esteárico (C16:0) en la grasa renal.

El contenido lipídico de los forrajes es bajo variando entre 1.4% y 5.1% de la materia seca (Bredon *et al.*, 1987), conteniendo los ácidos linolénico (C18:3), linoleico (C18:2) y oleico (C18:1) en las mayores proporciones de los ácidos grasos totales, siendo, respectivamente, 53%, 13% y 10% (Garton, 1960; Shorland, 1984). El hecho que el ácido linoleico (C18:2) estuviera influido por una alimentación con forraje (Casey *et al.*, 1988), soportaría lo señalado por Moore y Christie (1984) de que una proporción de los ácidos grasos poliinsaturados ingeridos (10%) pueden fluir a través del rumen.

2.4. Perfil aromático y atributos sensoriales de la carne de cordero

2.4.1. Influencia de la dieta en el perfil aromático de la carne de cordero

Numerosos estudios atestiguan que el perfil aromático de la carne puede ser modificado por las condiciones nutricionales en las que se crían los corderos. Valsta y Priolo (2006) han realizado una completa revisión sobre los compuestos potencialmente implicados en el flavor y el perfil aromático, que proporcionan las dietas ricas en forraje, a base de grano y enriquecidas con grasa empleadas en rumiantes. A su vez, dieta y sistema de producción son factores interrelacionados entre sí, ya que la dieta varía según se opte por criar a los corderos en régimen intensivo, extensivo o mixto. En la tabla 2.1. se puede apreciar la relación existente entre las dietas con que los corderos son alimentados y los efectos de las mismas en el flavor.

Tabla 2.1. Efecto de las dietas sobre el flavor de la carne de cordero

EFFECTO DE LAS DIETAS A BASE DE CEREALES SOBRE EL FLAVOR DE LA CARNE DE CORDERO	
Dietas a base de cereales (piensos concentrados)	Dietas herbales (pastos y forrajes)
-Proporcionan más carbohidratos, ácido oleico y ácido linoleico	-Proporcionan más proteínas, fenoles y ácido linolénico
-Incrementa los ácidos grasos ramificados C:8-C:10 de la carne	-Aumenta el nivel de compuestos fenólicos, sulfurados, indólicos y terpénicos de la carne
-Aumenta el nivel de aldeídos, cetonas y lactonas C18:1 y C18:2 de la carne	-Incrementa la concentración de aldeídos y cetonas C18:5 de la carne
-Marcado flavor propio a carne ovina	-Flavor a pasto
-Notas de flavor dulzón	-Intenso olor característico animal, incluso fecal

FUENTE: “Elisabeth Almela, María José Jordánb, Cristina Martínezb, José Antonio Sotomayor, Mario Bediaa y Sancho Bañóna. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia”.

Las dietas a base de grano aumentan el contenido en ácidos grasos ramificados de la carne debido a la intensa fermentación de carbohidratos por las bacterias amilolíticas presentes en el tracto digestivo. Aunque los compuestos formados dependen del tipo de cereal, en general, las dietas a base de grano proporciona más ácido oleico y linoleico que las dietas ricas en forraje, de ahí que se asocian a las primeras con el incremento en la grasa ovina de ciertas lactonas (gamma- tetradecalactona y gamma-hexadecalactona) y aldeídos (hexanal, 2-heptenal y 2-4, decadienal) formados a partir de estos ácidos grasos (Sebastián *et al.* 2003; Suzuki y Bailey, 1985). En general, estos compuestos aportan flavor dulce y reducen el flavor característico a carne de cordero.

La carne de cordero criado en sistemas extensivos desarrolla un flavor pastoral característico que puede resultar desagradable para aquellos consumidores poco habituados (Prescott *et al.*, 2001). Schreurs *et al.* (2008) han realizado una completa revisión sobre esta cuestión. Los descriptores más comunes catalogados bajo el término de flavor pastoral son “hierba”, “animal”, “fecal”, “oveja”, “establo” y “lechoso”. Otros descriptores usados, aunque menos comunes, son “rancio”, “graso” y “agrio” (Priolo *et al.*, 2001, Young *et al.*, 2003). En comparación con las dietas a base de grano, los pastos son más ricos en ácido linolénico, precursor de diversos aldeídos

insaturados, ácidos grasos volátiles y metil-cetonas (Prache *et al.*, 2005). Otros constituyentes presentes en altas proporciones en el pasto son clorofilas, taninos condensados y terpenos.

El flavor a pastos ha sido relacionado con el depósito de alquilfenoles en la grasa ovina, incluyendo metilfenoles, isopropilfenoles y otros compuestos fenólicos (Ha y Lindsay, 1991). Por ejemplo, el 4-metilfenol ha sido relacionado con el “olor a animal” (Young *et al.*, 1997). Los alquilfenoles se encuentran presentes en gran variedad de plantas y proceden de la fermentación ruminal de la lignina, así como de dietas ricas en diterpenos y tirosina. Otra fuente de compuestos fenólicos son los ácidos cumárico y ferúlico, presentes en el forraje. Según Brennan y Lindsay (1992b) el tiofenol contribuye desagradablemente al flavor de la carne ovina, proporcionándole cierto olor sulfuroso, si bien Young *et al.*, (1997b) consideran que la concentración de tiofenol en la grasa de cordero es baja para tener un papel significativo en el flavor de la carne.

Otros compuestos responsables del flavor pastoral son el indol y 3-metil indol (escatol), cuyos niveles pueden aumentar en la grasa tras ingerir dietas ricas en proteínas que proporcionan los pastos (Rousset-Akrim, Young y Berdagué, 1997, Young *et al.*, 1997). El escatol y el indol se generan en el rumen por desaminación y descarboxilación microbiana del triptófano. El escatol contribuye al olor apetitoso de las comidas a bajas concentraciones, pero a altas concentraciones presenta un olor fecal desagradable.

La alimentación de corderos con dietas enriquecidas en grasas y aceites también puede modificar el perfil de ácidos grasos de la carne. Por ejemplo, el empleo de aceites de pescado, algas marinas y de semilla de lino aumenta el nivel de ácidos grasos poliinsaturados, aldehídos y otros compuestos secundarios éstos, como por ejemplo, 3-tiazolinas y tiazoles generados por reacción de compuestos carbonilo y sulfurados tras el cocinado (Elmore *et al.*, 2005). Aunque la alimentación ovina está cada vez más controlada, pueden producirse sabores anómalos por alimentación con determinados residuos de la industria alimentaria, subproductos vegetales, vegetales inapropiados o dosis excesivamente altas de éstos. Hay que tener en cuenta que es corriente que el ganado pague para así aprovechar los restos de las explotaciones agrícolas y pueden presentarse problemas de este tipo. Por último, la suplementación dietética con antioxidantes, como la vitamina E, reduce el enranciamiento de la carne fresca y cocinada, aunque no proporcionan sabores propios a la carne. Igual efecto tiene incorporar determinados

compuestos antioxidantes activos a través de la dieta, suplementando a los ovinos con vegetales ricos en antioxidantes naturales.

Estudios recientes muestran que la alimentación con chía, una planta oleaginosa que constituía uno de los pilares de la alimentación de las civilizaciones precolombinas del continente americano y que posee un alto contenido en AGPI de la serie n-3 (Ayerza y Coates, 2006), tiene un efecto positivo en la mejora del perfil de ácidos grasos. Los resultados obtenidos en dichas experiencias muestran que, por efecto de la ingestión de chía, el perfil de ácidos grasos de la carne varía significativamente, mejorando la relación n-6/n-3 hasta valores de 3:1 sin que las características organolépticas y sensoriales de la carne se vean afectadas. (Mendizabal¹, J. A, Eguinoa², P., Arana¹, A., Maeztu², F., Insausti¹, K., Sarriés¹, M. V., Soret¹, B., Beriain¹, M. J., Purroy¹, A. ¹ETSIA. Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadia, 31006 Pamplona. ²ITG Ganadero. Avda. Serapio Huici 22. 31610 Villava. Navarra.)

2.4.2. Naturaleza química de los principales compuestos responsables del perfil aromático.

En los últimos años ha sido posible establecer la naturaleza química de aquellos grupos que incluyen los compuestos primarios del perfil aromático:

a) Compuestos alifáticos que contienen ciertos grupos funcionales: hidroxilo, carbonilo, éster, tiol...

Aunque dentro de esta serie de sustancias orgánicas las posibilidades resultan infinitas, son los ácidos grasos, aldehídos y alcoholes las principales especies químicas que contribuyen al flavor. Así en la serie de ácidos grasos, el ácido fórmico aporta sabor agrio, olor rancio y aroma irritante, pero tales estímulos se van mitigando a medida que se incrementa la longitud de la cadena hidrocarbonada.

Cuando los ácidos grasos se encuentran en forma de éster etilo o de otros ésteres algo más superiores, suelen manifestar olores frutales, aunque no siempre signifique olores deseables, pero sí menos detestables que el de sus ácidos libres. En cambio, los derivados aldehídos de los ácidos grasos son bastante irritantes, aunque también pierden parte de su irritabilidad a medida que se incrementa la longitud de la cadena.

Los alcoholes inferiores, como metanol y etanos, exhiben generalmente olores espirituosos, reduciendo su volatilidad a medida que aumenta su peso molecular y con ello se disminuye su posibilidad de contribuir al flavor.

Las cetonas imparten sabores muy significativos de muchas frutas, vegetales y algunos productos lácticos fermentados, dentro de una gama bastante amplia.

Las iononas y sus derivados también desempeñan papeles importantes en los sabores delicados, asociados a las cerezas y otras frutas.

b) Estructuras aromáticas con los mismos tipos de grupos funcionales anteriores

Las estructuras químicas orgánicas que contienen anillos aromáticos suelen ofrecer una variedad muy confusa de olores, que van desde los dulzones para los fenoles, hasta los alcanforados, amancerados y almizclados de los sistemas anulares sustituidos. Sustancias con anillos aromáticos y funciones fenoles, aldehídos o ésteres suelen ser importantes contribuyentes de sabores de extractos vegetales. Su aportación se acentúa cuando la presencia de oxígeno conlleva alguna polaridad y una presión de vapor razonable. A veces, la esterificación de un grupo carboxilo provoca un efecto positivo convirtiendo a la especie química de inodora en olorosa.

c) Estructuras moleculares que contienen átomos de N y S

Los compuestos, tanto alifáticos como aromáticos, que contienen átomos de N y de S suelen ser sustancias críticas para la química del flavor de un alimento.

Especial reconocimiento merecen los compuestos azufrados por su elevada volatilidad y reactividad, además de un valor umbral extraordinariamente bajo, pues la mayoría sólo necesitan de una concentración de 0.2-0.5 microgramos por litro de agua para que ya puedan ser detectados.

El amplio espectro de posibilidades estructurales (monosulfuros, disulfuros, isotiocianatos, tazoleos, tiofenos..., así como su gran labilidad, complican en gran manera la química de estos compuestos. Muchos de ellos son responsables de los sabores picantes de las plantas crucíferas, ajos, cebollas... También frutas, productos lácteos y bebidas alcohólicas pueden

contener vestigios de estos compuestos, que en gran parte proceden de los tratamientos térmicos usados en su preparación o en su conservación.

Numerosas aminas aromáticas, derivadas de aminoácidos y otros compuestos nitrogenados heterocíclicos, ejercen un notable impacto sobre el flavor de muchos alimento. En los últimos años se ha centrado la atención de un modo especial sobre las pirazinas, presentes en alimentos que han sido tratados por el calor: productos de panadería y bollería, cacao.... También se pueden encontrar en productos vegetales como pimientos, tomates y legumbres...

d) Estructuras isoprenoides, lactonas y otras

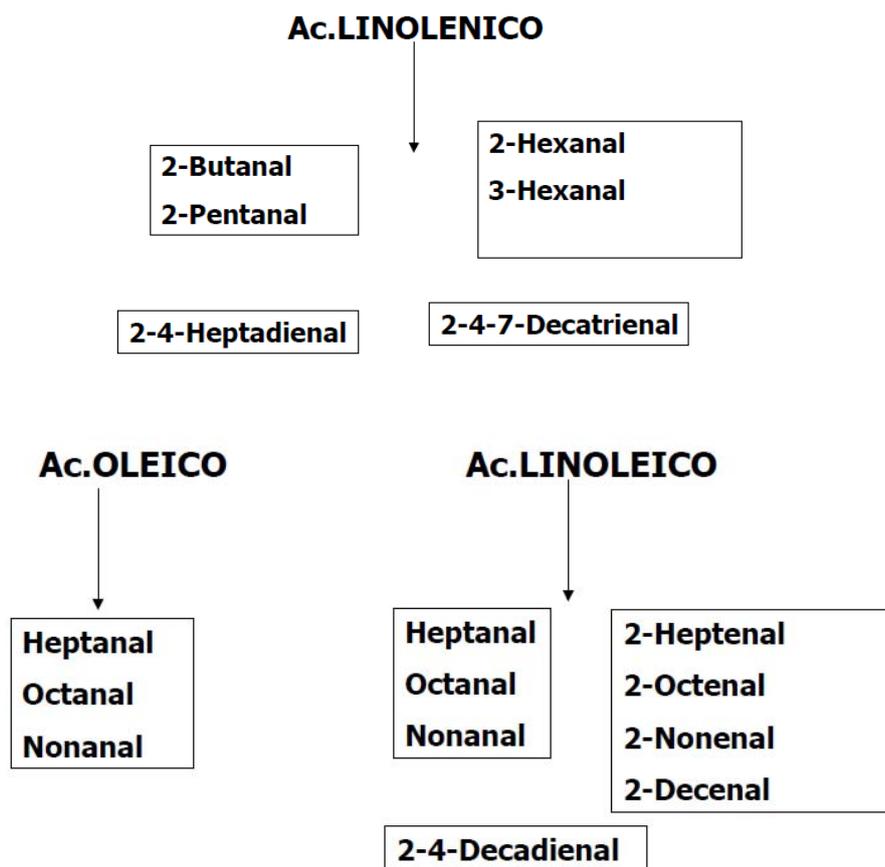
Los derivados isoprenoides son constituyentes naturales del metabolismo de las plantas, que cuentan con sistemas reactivos que consumen acetil-coenzima A. Las especias y muchos aceites esenciales contienen mezclas complejas de estos compuestos.

Algunas estructuras que incluyen grupos OH y COOH pueden adoptar formas cíclicas de lactonas, sustancias que pueden estar presentes en los alimentos de un modo natural, o como una consecuencia de la acción del calor.

Estructuras de furanonas, piranonas, furilcetonas.... También imparten en muchos alimentos sabores característicos, a pesar de sus bajas concentraciones. En general, son compuestos que se forman, la mayoría de las veces, con el tratamiento térmico culinario.

2.4.3. Compuestos volátiles responsables del perfil aromático de la carne de cordero

En el siguiente esquema se pueden ver los aldehídos alifáticos, compuestos volátiles que se obtienen por la oxidación de ácidos grasos:



El flavor de la carne ovina ha sido objeto de diversos estudios científicos y algunas revisiones, entre las que destacan los trabajos de Young y Braggins (2004), amén de otras revisiones generales sobre el flavor de la carne (Mottram, 1994; Pegg y Sahidi, 2004; Calkins y Hodgen, 2007). La carne de cordero cocinada tiene un flavor propio que lo diferencia de la carne de otros rumiantes, cuya intensidad aumenta con la edad del animal, siendo más débil en la carne de cordero que en la de ovino mayor. Es sabido que la grasa ovina contiene compuestos aromáticos específicos parecidos a los de la grasa caprina, aunque no se sabía muy bien como se generaba el flavor tras el cocinado. Esta cuestión fue parcialmente resuelta por Hornstein y Crowe (1963), quienes comprobaron que la grasa ovina desarrollaba por igual su olor característico cuando era calentada en una atmósfera con y sin oxígeno. Por tanto, concluyeron que el aroma característico estaba más relacionado con la particular composición de la grasa ovina que con fenómenos de oxidación de lípidos. Sin embargo, esto no ocurría con la grasa de vacuno y cerdo, que experimentaban ciertas diferencias en el aroma.

Esta teoría ha sido corroborada por investigadores contemporáneos. Así, se sabe que la grasa ovina contiene niveles significativos de diversos ácidos grasos volátiles de 5 a 10 carbonos, incluyendo varios ácidos grasos ramificados relacionados con el flavor (a sudor) característico de la carne ovina. Los tres principales ácidos grasos ramificados responsables del aroma y sabor específico de la carne ovina son el ácido 4- metilnonanoico (4-metilpelargónico), ácido 4- etiloctanoico (4-etilcaprílico) y, fundamentalmente, el ácido 4-metiloctanoico (4-metilcaprílico o hircinoico). Estos ácidos grasos ramificados se encuentran en más cantidad en la grasa subcutánea que en la intramuscular del ovino adulto (Brennand y Lindsay, 1992; Sutherland y Ames, 1996; Rota y Schieberle 2006), y prácticamente están ausentes en la grasa del cordero lactante (Osorio et al., 2008). Ello se debe a que estos ácidos grasos ramificados son sintetizados a partir del ácido propiónico procedente de las fermentaciones ruminales.

Comparados con los ácidos grasos de cadena larga que predominan en la grasa animal, estos ácidos grasos ramificados están presentes en bajas concentraciones en la grasa de cabra y oveja, estando prácticamente ausentes en la carne de otras especies domésticas, a excepción de la caprina. Por ejemplo, el ácido 4-metiloctanoico alcanza concentraciones en la grasa perirrenal ovina de 0,7 ppm (cordero), 8 ppm (carnero) y 10 ppm (oveja) (Ha y Linsay, 1990). El gran impacto en el flavor de los ácidos grasos ramificados estaría asociado al bajo nivel umbral de detección que estos presentan y a su relativa estabilidad al calor.

Brennand *et al.* (1989) estudiaron las propiedades aromáticas en disoluciones modelo de varios ácidos grasos de cadena ramificada, ácidos grasos con número impar de átomos de carbono y ácidos grasos insaturados. De los 23 compuestos estudiados, el ácido 4-metiloctanoico exhibió el umbral de detección más bajo (0,006 ppm en disolución acuosa), corroborando *in vitro* que el aroma típico de la carne ovina corresponde sobre todo a ácidos grasos con cadenas de 8-9 átomos de carbono, ramificados en la posición 4. Así, el ácido 4-metiloctanoico presentó un olor “ceroso” y “a carne caprina cocinada” a baja concentración (1 ppm), mientras que su olor fue descrito como “a carne ovinacaprina cocinada” al aumentar la concentración a 10 ppm. Por su parte, el olor del ácido 4-metilnonanoico a 1 ppm fue descrito como “ceroso-sudoroso”, “grasiento”, “jabonoso” y “como ácido”, mientras que al aumentar su concentración a 25 ppm, su olor fue descrito como “a carne ovina cocinada” “a madera húmeda” y “grasiento”. Por tanto, el ácido 4-metiloctanoico proporcionaría la base del flavor a carne ovina cocinada, debido a su bajo umbral de detección olfativo y mayor concentración, mientras que el ácido 4-metilnonanoico, con un umbral de detección más bajo y menor concentración que aquel, parece jugar un papel más

relevante cuando la carne posee un fuerte flavor a cordero. Por su parte, el ácido 4-etiloctanoico se acumula sobre todo en la carne de ovino mayor, contribuyendo por tanto al flavor propio a carne cocinada ovina y caprina de los animales viejos, si bien presenta un menor umbral de detección olfativo que el ácido 4-metiloctanoico (Sutherland y Ames, 1996).

Además de los ácidos grasos específicos, la carne ovina se caracteriza por un elevado contenido en diversos compuestos azufrados volátiles procedentes de la degradación de la cisteína y la cistina, como 4,6-dimetil- 1,3-oxatiano (no fresco/húmedo animal), 3,5-dimetil- 1,2,4-titriolano, y 2,4,6-dimetilperhidro-1,3,5- ditiacina. La carne ovina es más rica en cisteína y cistina que la carne bovina, genera más sulfuro de hidrógeno durante el cocinado, el cual es un potente precursor de numerosos compuestos aromáticos (Cramer, 1983). La lana, fibra única de las ovejas y rica en cisteína, actúa como almacén de azufre en la oveja. La forma en que los aminoácidos se encuentran en la carne puede afectar al olor de esta, ya que cuando están en forma libre, son más termolábiles que cuando forman parte de péptidos y proteínas. La carne ovina también posee considerables niveles de piracinas y piridinas que también contribuyen a diferenciar su flavor específico, destacando la 2 pentilpiridina (a hierba) (Sutherland y Ames, 1995). Se ha sugerido que la mayor presencia de estos compuestos nitrogenados en la carne ovina cocinada podría estar relacionada con el hecho de que ésta contiene menos glucosa, de modo que la reacción de Maillard sería menos extensa y se generaría más amonio durante la degradación térmica de los aminoácidos. Como se verá más adelante, la carne ovina puede contener niveles significativos de lactonas, compuestos fenólicos e indólicos que pueden contribuir directamente o como precursores a su flavor.

A continuación, se pueden ver en la tabla 2.2 los compuestos volátiles que pueden estar presentes en la carne de cordero y la familia a la que pertenecen.

Tabla 2.2. Compuestos volátiles que determinan el perfil aromático de la carne de cordero

FAMILIA	COMPUESTO
HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS	Heptano
	Octano
	2,2,4,6,6-Pentametilheptano
	Hexano
	3-metiltio-1-propeno
	Nonano
	Decano
	Undecano
	Pentano
	3-octeno
	2-octeno
	Tridecano
	ALDEHÍDOS ALIFÁTICOS
Isobutanal	
Butanal	
Pentanal	
1-hexanal	
Hexanal	
Heptanal	
Octanal	
Nonanal	
Decanal	
Dodecanal	
2-nonenal	
2-decenal	
2-metilpropanal	
2-metilbutanal	
3-metilbutanal	
CETONAS ALIFÁTICAS	2-Butanona
	2-Propanona
	2-heptanona
	3-octanona
COMPUESTOS AZUFRADOS	Carbon Disulfuro
	2-tiapropano
	Tiourea
ALCOHOLES ALIFÁTICOS	Etanol
	1-octen-3-ol
	Metanotiol
	1-pentanol
	1-heptanol

	1-octanol
FURANOS	2-pentilfurano
TERPENOIDES	Limoneno
HIDROCARBUROS	Benceno
AROMÁTICOS	Tolueno
	1,4-dimetilbenceno

FUENTE: "Elaboración propia"

2.4.4. Métodos instrumentales de medida de los compuestos volátiles y aromáticos de la carne.

Las fases iniciales de aislamiento y concentración de los compuestos volátiles se han realizado tradicionalmente por proceso de destilación o de extracción con solventes (Likens y Nic- kerson, 1964), pero presentan algunos inconvenientes ya que utilizan temperaturas elevadas durante un tiempo prolongado, lo que aumenta las posibilidades de formación de artefactos.

A continuación, se van a describir las metodologías más empleadas actualmente para la extracción e identificación de los compuestos volátiles en carne.

2.4.4.1. Técnica de espacio de cabeza estático.

Anteriormente, se han realizado trabajos (Chasco et al., 1993) utilizando el espacio de cabeza estático para la extracción de compuestos volátiles. La técnica de espacio de cabeza estático extrae un volumen especificado de la fase gaseosa en equilibrio termodinámico con la muestra a una temperatura determinada. Esta técnica tan sólo analiza los compuestos volátiles presentes en la fase gaseosa de la muestra, por lo que la variabilidad en los resultados obtenidos es relativamente elevada. Este método no resulta muy recomendable cuando el objetivo es el análisis de compuestos traza, debido a que éstos están por debajo de los límites de detección, ya que el uso de columnas capilares cromatográficas limita el volumen de espacio de cabeza a inyectar.

Por ello, actualmente se emplea el espacio de cabeza denominado «dinámico» que implica el arrastre de los compuestos volátiles de la muestra por medio de un gas inerte.

2.4.4.2. Técnica de espacio de cabeza dinámico

En las investigaciones sobre el flavor en la carne, está muy extendido el uso del espacio de cabeza dinámico (purge-and-trap) como sistema de extracción y concentración de los volátiles de la muestra previa a su separación por cromatografía gaseosa (Ho y Manley, 1993). En este sistema, la muestra, ya sea líquida o sólida, es sometida al paso de un flujo constante de un gas inerte que arrastra los compuestos volátiles presentes en la fase vapor en equilibrio con la muestra. A continuación, la corriente de gas, junto con los compuestos volátiles arrastrados, pasa por un material adsorbente o «trampa» donde quedan retenidos y posteriormente por desorción térmica se transfieren a un cromatógrafo de gases para su separación.

Para la concentración de los compuestos volátiles de la carne antes de su inyección en el cromatógrafo se pueden utilizar distintos materiales. Entre los materiales adsorbentes que se pueden utilizar para efectuar la adsorción física de los volátiles (carbón activo, silicagel etc.) se ha elegido el Tenax por sus características de afinidad con los compuestos volátiles y su baja afinidad con las moléculas de agua, siempre presentes en el espacio de cabeza de la carne cocinada. Este material adsorbente es el más utilizado en los trabajos de investigación realizados en el campo del análisis de volátiles (Ho y Manley, 1993).

Seguidamente, se realiza la desorción térmica de los compuestos retenidos en la trampa elevando su temperatura. Se debe asegurar la completa limpieza de la trampa tras cada extracción para realizar el análisis siguiente acondicionándola a unos 230°C con un flujo de helio de 40 ml/min durante un periodo entre 15 y 30 min.

Tras el proceso de extracción de los compuestos volátiles, se inyectan directamente en modo split (5:1) en un cromatógrafo de gases donde se efectúa su separación con una columna capilar HP-5 (5% metil fenil silicona, 50 m × 0,32 mm × 1,05 μm) o similar, tal y como describieron Gorraiz et al. (2002) e Insausti et al. (2002, 2005).

La identificación de dichos compuestos se realiza con un espectrómetro de masas, por comparación de los espectros obtenidos con los de la biblioteca de Wiley 275, y el cálculo de sus índices de retención (Kondjoyan y Berdagué, 1996).

Respecto al tipo de compuestos detectados, su naturaleza está directamente influida por las condiciones de desorción de la trampa. Con temperaturas cercanas a 180°C se identifican

principalmente hidrocarburos de baja significación sensorial. Por ello, se recomiendan temperaturas de desorción entre 225-250°C para obtener un mayor porcentaje de compuestos derivados de los lípidos y de mayor contribución sensorial en la carne.

2.4.4.3. Extracción con fluido supercrítico (SFE)

En los últimos años se está aplicando la extracción con dióxido de carbono como fluido supercrítico para el análisis de dichos compuestos en carne de ternera (King et al., 1993). Un fluido supercrítico es un gas que se encuentra en condiciones de presión y temperatura por encima de su punto crítico. A partir de dicho punto presenta un estado en el cual no es ni gas ni líquido, sino que presenta propiedades intermedias que lo hacen muy adecuado para los procesos de extracción (Rizvi, 1994).

Para la extracción de los compuestos volátiles, se utiliza un extractor de fluido supercrítico con trampa de ODS (octadecil silicagel) y con dióxido de carbono de calidad supercrítica. Una vez cocinada y picada la carne se toma una muestra de 0,5 g y se mezcla con alúmina (1:1) para evitar que la humedad de la muestra interfiera en el proceso, introduciendo la mezcla en el vial del extractor. En el interior del vial, la muestra se coloca entre dos capas de Celite 54 como soporte inerte. Las condiciones del análisis son: temperatura de la cámara 50°C, de la trampa -5°C y del «nozzle» 45°C. La densidad y temperatura del fluido son los parámetros de mayor importancia para la extracción de volátiles (0,5 g/ml y 40°C). Los disolventes de reconstitución utilizados son acetona y hexano en proporción 2:1, recogiendo un volumen de 0,5 ml.

El análisis del extracto se realiza por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas. Se inyecta en el cromatógrafo en modo splitless en una columna HP-Innowax de polietilenglicol (60 m × 0,25 mm × 0,25 µm) o similar, utilizando helio como gas portador con una presión de 13,6 psi y un flujo de 1 ml/min. La temperatura inicial del horno es de 10°C, incrementándose a 10°C/min hasta 200°C donde se mantiene 20 min para posteriormente continuar incrementándose hasta 250°C a 10°C/min. El potencial de ionización utilizado en el espectrómetro es de 70 eV y el rango de masas de 30 a 500 uma.

La aplicación de estas dos técnicas de extracción de compuestos volátiles a la carne de ternera cocinada, espacio de cabeza dinámico y extracción con fluido supercrítico, ha dado lugar a la identificación de una serie de compuestos cuyos perfiles han presentado diferencias según la

técnica utilizada. Así, con la extracción con espacio de cabeza dinámico se obtiene una mayor representación de los compuestos más volátiles, aldehídos y cetonas, así como de compuestos azufrados, importantes desde el punto de vista del flavor de la carne (Huarte-Mendicoa et al., 1998).

2.4.4.4. Olfatometría

Actualmente se ha comprobado que la fracción volátil de los alimentos se compone de un gran número de compuestos, pero solamente unos pocos van a ser determinantes en el aroma final del alimento (Grosch, 1994). La identificación y diferenciación de los compuestos volátiles olorosamente activos de los no activos es uno de los objetivos principales en el estudio del flavor de los alimentos.

La Cromatografía de Gases-Olfatometría (CG-O) o sniffing es la correlación entre los procedimientos sensorial e instrumental, y permite determinar la contribución de cada compuesto aromático dentro de la fracción volátil de los alimentos así como la identificación química de los mismos. La CG-O se basa en la extremada sensibilidad de los receptores olfativos humanos hacia determinados compuestos químicos así como su capacidad para diferenciarlos. Esta sensibilidad en la detección y diferenciación es superior a la que se puede lograr con cualquier detector químico de alta sensibilidad en CG y requiere en general de un menor caudal de efluente. Cuando el objetivo es determinar la contribución aromática de cada compuesto volátil en el aroma global del alimento, la aplicación de la técnica CG-O es esencial para la caracterización del aroma del alimento.

Las herramientas necesarias para realizar estudios olfatométricos son un sistema cromatográfico dotado de un puerto olfativo y un panel de sujetos convenientemente formados y entrenados en la percepción, descripción y reconocimiento de olores. Además, se hace necesario que el conjunto de individuos emplee los mismos descriptores ante un mismo estímulo provocado por los compuestos aromáticos a su salida del cromatógrafo. A cada sujeto se le indica que respire con normalidad durante el tiempo de análisis cromatográfico y que indique tres tipos de respuesta: el instante de inicio de la percepción de una región olorosamente activa, los descriptores sensoriales asociados a la percepción olorosa registrada y el final de la percepción olorosamente activa. A partir de los resultados obtenidos se determina la reproducibilidad en las respuestas de cada individuo para los tiempos inicial y final de percepción de cada uno de los

compuestos. El análisis de reproducibilidad de las respuestas de cada uno de los miembros del panel específico de CG-O se hace necesario e imprescindible para poder afirmar realmente que las diferencias entre dos muestras analizadas por CG-O se deben ciertamente a diferencias reales entre muestras, y no a la variabilidad en la respuesta de los analistas.

Las técnicas de CG-O se pueden clasificar en cuatro tipos:

1. Métodos de dilución: son las técnicas de charm analysis o extract dilution sniffing analysis (EDSA) y aroma extract dilution analysis (AEDA) (Grosch, 1993). La principal diferencia entre ambas técnicas radica en que el Charm analysis determina el valor de dilución respecto del tiempo total de elución del compuesto, mientras que AEDA únicamente determina el valor máximo de dilución en la que se detecta actividad olorosa de un compuesto dado (Grosch, 1994).
2. Método de intervalo de respuesta: indican el momento de percepción de un compuesto por encima de su umbral y el momento en que deja de ser perceptible, asumiendo que la anchura o el tiempo de elución de todos los compuestos es semejante.
3. Método tiempo-intensidad: recogen las sensaciones de intensidad durante la elución del estímulo.
4. Método de intensidad posterior: los sujetos evalúan la intensidad de la sensación percibida después de la elución del compuesto asociando su percepción a una escala numérica.

2.4.4.5. Nariz electrónica

El concepto de nariz electrónica se introdujo en 1982 por Persaud y Dodd que construyeron un sistema compuesto por una serie de tres sensores. Según Gardner y Bartlett (1994) una nariz electrónica es un instrumento que une una serie de sensores eléctricos y químicos con especificidad parcial y un sistema de reconocimiento apropiado, capaz de reconocer olores simples y complejos. Estos sistemas, también llamados nariz artificial, intentan simular el sistema olfativo humano que es complejo e inteligente.

Las narices electrónicas se pueden aplicar en muchos campos. En relación con la carne, este sistema se está aplicando para la valoración de la calidad sensorial, la clasificación y la determinación del grado de deterioro de la carne envasada (Haugen y Kvaal, 1998). No obstante, uno de los puntos críticos en la aplicación de este sistema es el sistema de muestreo. Éste

puede presentar problemas cuando se trabaja con sólidos, como es el caso de la carne (Neely et al., 2001). Además, los métodos analíticos tradicionales, como la cromatografía de gases-espectrometría, son todavía necesarios para el estudio de las diferencias entre muestras. Así mismo, el análisis sensorial es necesario en muchos casos cuando se quiere definir la calidad de un producto, y después poner a punto el sistema de nariz electrónica (Hansen et al., 2005).

Los aparatos comerciales disponibles en el mercado pueden variar en el número de sensores/detectores en serie (14, 24, 32) de forma que cada sensor tiene cierta afinidad hacia un determinado compuesto químico o volátil. Cuando el sensor es expuesto a ese compuesto se produce un cambio en su conductividad proporcional a la cantidad de compuesto adherida a la superficie del polímero generando una señal. Dicha señal se almacena para su posterior exportación a una hoja Excel. Las fases de adsorción y desorción se pueden considerar de forma conjunta o por separado.

La señal generada por unos sensores de olor en serie se tiene que procesar de forma sofisticada. El análisis estadístico de estos datos incluye el análisis discriminante lineal, análisis de componentes principales, análisis discriminante, análisis discriminante factorial y análisis cluster (Schaller et al., 1998), *partial least squares* y *artificial neural network o fuzzy logic* (Haugen y Kvaal, 1998).

2.4.5. Atributos sensoriales de la carne de cordero

En la tabla 2.3 se pueden observar algunos atributos que pueden estudiarse en la carne de cordero.

Tabla 2.3. Atributos sensoriales de la carne de cordero

ATRIBUTOS SENSORIALES	DEFINICIÓN
Intensidad de olor a ovino	Olor de la carne cocinada a la especie
Intensidad de olores extraños	Olores anormales, no siempre identificados
Intensidad de flavor a cordero	Flavor de la carne cocinada de especia
Intensidad de flavor a hígado	Flavor propio de ésta víscera
Intensidad de flavor ácido	Flavor asociado al sabor del ácido cítrico
Intensidad del flavor a grasa	Flavor propio de la grasa o aceite de la carne
Intensidad del flavor rancio	Flavor de la grasa oxidada, o de carne caducada
Intensidad de flavor metálico	Flavor asociado al sabor a sangre
Apreciación global	Valoración hedónica del producto
Terneza	Facilidad en la masticación con los molares
Jugosidad	Líquido expelido por la muestra

FUENTE: R. San Julián 1, F. Montossi 1, V. C. Resconi 2, M. M. Campo 2, C. Sañudo 2, A. Escudero 3, V. Ferreira 3. 1 Programa Nacional de Producción de Carne y Lana, INIA 2 Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza (España). 3 Departamento de Química Analítica Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza (España).

Estos atributos sensoriales son los que comúnmente se tienen en cuenta a la hora de hacer paneles sensoriales para definir la calidad de la carne a través de catadores que estén o no entrenados.

Todos estos atributos, o muchos de ellos como el olor o el sabor van a estar estrechamente relacionados con los compuestos volátiles de la carne, y van a ser los responsables de diferentes sensaciones debido a las correlaciones existentes entre los mismos compuestos y con los atributos sensoriales (Gorraiz et al., 2002). En la tabla 2.4, se pueden observar varios ejemplos.

Tabla 2.4. Relación de compuestos volátiles con su olor característico

COMPUESTO VOLÁTIL	OLOR	REFERENCIAS
Pentanal	Acre	1,2,3
Hexanal	Herbal, frutal, a nuez, graso	1,2,3
Heptanal	Herbal, graso, gaseoso	3
Octanal	Frutal, herbal, jabonoso, a patata	5,6
Nonanal	Acre, dulce, graso, herbal, a salsa, jabonoso, mohoso, a té, vegetal, limón, jamón de ternera asado, sabroso, amargo	6
2-metilbutanal	Acre, dulce, carne asada, herbal, chocolate, caramelo, a nuez	1
2-pentilfurano	Herbal, a tierra, a judías verdes	3
Etanol	Dulce	2,3
Limoneno	Limón, herbal, rancio, gomoso	6

Fuente: 1. García y cols (1991); 2. MacLeod y Seyyadain-Ardebili (1981); 3. Gasser y Grosch (1988); 4. Machiels et al. (2003); 5. Machiels et al. (2004); 6. Moon et al. (2006).

OBJETIVOS

3.



OBJETIVOS

En el presente trabajo, uno de los objetivos es estudiar el perfil aromático de la carne de corderos de la Raza Navarra y el efecto de la alimentación en su perfil aromático.

Un segundo objetivo será analizar la relación existente entre los compuestos volátiles determinados en el estudio anterior, con los atributos sensoriales valorados en un panel de cata de carne de corderos alimentados con los diferentes tipos de dieta, realizado previamente.

MATERIAL Y MÉTODOS

4.



MATERIAL Y MÉTODOS

4.4. Material

4.4.1. Material animal

4.4.1.1. Material animal y alimentación

Para este estudio se utilizaron 33 corderos machos de raza Navarra procedentes del rebaño experimental que el ITG Ganadero tiene en la finca “El Serrón” en Valtierra (Navarra). Los corderos fueron distribuidos durante el cebo en tres grupos según el alimento recibido: Lote Control (pienso concentrado comercial; n=9); Lote Lino (pienso enriquecido con un 10% de semilla de lino; n=11); Lote Chia (pienso enriquecido con un 10% de semilla de de chíá; n=11). En la Tabla 1 se muestra la composición en materias primas y la composición química de los 3 piensos.

Tabla 4.1. *Composición en materias primas y composición de los diferentes piensos utilizados durante el cebo de los corderos (Control: pienso comercial; Lino: enriquecido con 10% de semilla de lino; Chíá: enriquecido con 10% de semilla de chíá).*

		CONTROL	LINO	CHÍA
COMPOSICIÓN MATERIAS PRIMAS	Cebada (%)	81,2	69,7	73,3
	Soja (%)	15,2	11,2	12,6
	Lino (%)		10	
	Chía (%)			10
COMPOSICIÓN QUÍMICA	EM (%)	22,7	2,8	2,8
	PB (%)	16,7	17	17,7
	EE (%)	3,1	4,8	4,1
	FB (%)	4	4,5	5,3
	Cenizas (%)	9,6	8,7	8,9

FUENTE: ¹Insausti K; ¹Mendizabal JA; ¹Sarriés MV; ¹Zudaire G; ²Eguinoa P; ¹Arana A; ¹Beriain MJ; ¹Purroy A. ¹ETSIA. Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadia, 31006 Pamplona. ²ITG Ganadero. Avda. Serapio Huici 22. 31610 Villava. Navarra.

4.4.1.2. Sacrificio

El sacrificio de los corderos tuvo lugar cuando estos alcanzaron un peso medio de 26 kg y se llevó a cabo en el matadero “La Protectora” de Pamplona. El sacrificio, faenado y clasificación de las canales se realizó siguiendo el método de Colomer et al. (1988). Así mismo, a las 24 horas

post mortem se determinó el pH y el color de la grasa (región dorsal a la altura de la 12^a costilla) y el color de la carne (músculo latissimus dorsi) (Berriain et al., 2000).

4.4.1.3. Tratamiento, maduración de las muestras y envasado

Las canales se despiezaron en la planta piloto del laboratorio 14 de la UPNA. Se separaron los lomos, el derecho destinado a un panel de cata de consumidores; y el izquierdo para el análisis instrumental de este trabajo.

La carne de cordero fue madurada 4 días; un día la canal y 3 días al vacío.

4.4.2. Preparación culinaria de las muestras

Las muestras que se encontraban envasadas al vacío se sacaron del arcón frigorífico 24 horas antes de su análisis, y se mantuvieron en un frigorífico a 4°C hasta su análisis. Una vez que las muestras estaban descongeladas, se procedió a la apertura del envase protector y se envolvieron con papel de aluminio para su posterior cocinado.

Para el cocinado se empleó una plancha convencional, que se calentó hasta los 200°C. Una vez puesta la muestra en la plancha se controló la temperatura con una sonda hasta que alcanzará una temperatura de 70°C en el interior de la misma. Una vez alcanzada la temperatura, se procedió al picado de la muestra y era introducida en un vial.

4.4.3. Análisis instrumental

4.4.3.1. Extracción de los compuestos volátiles

Este procedimiento que se explica a continuación se realizó por duplicado en todas las muestras a analizar.

Después de proceder al cortado y picado de la muestra a analizar, la muestra (10 gramos) se metió en un vial, y éste se insertó en un concentrador de la muestra de Tekamr-Dorhmann 3100, Ohio, E.E.U.U. Para la extracción de los compuestos volátiles, se empleó la técnica de espacio de cabeza dinámico. Para que la muestra no se enfriara, el vial era metido dentro de una camisa

calefactora, manteniéndolo a una temperatura de 70 °C. A continuación, la muestra era purgada durante 20 minutos con un flujo de Helio (99,99 % de pureza) de 40 mL/min. que arrastraba todos los compuestos volátiles presentes en el espacio de cabeza. Los volátiles, eran recogidos en una trampa de Tenax CG. Durante esta fase se mantuvo la temperatura a 15 °C. Después se llevó a cabo la fase de desorción térmica, donde la trampa era calentada hasta los 225 °C durante 2 minutos, y en donde los compuestos volátiles eran arrastrados con helio a 40 mL / min.

4.4.3.2. Separación y cuantificación de los compuestos volátiles

Después de la extracción de los compuestos volátiles, debían ser separados y cuantificados.

Este proceso se realizó con un cromatógrafo de gases HP-6890 (Hewlett-packard, España), conectado a un espectrómetro de masas de cuadrupolo HP 5973 (Hewlett-packard, España) con ionización electrónica. El inyector con división (1:5) estaba a una temperatura de 250 °C. Se utilizó una columna capilar HP-5 de 5% fenilmetilsilicona (50 m x 320 µm x 1,05 µm) y helio (pureza 99,9 %) como gas portador con una presión en cabeza de columna de 6 psi y un flujo de salida de columna de 1,5 mL/min a 35 °C. La temperatura inicial del horno se programó a 35 °C y se mantuvo durante 15 minutos, para después incrementarla a razón de 8 °C/min hasta alcanzar los 220 °C donde se mantuvo durante 5 minutos.

El cromatógrafo estaba acoplado con un espectrómetro de masas HP-5973. El voltaje de ionización, se mantuvo en 70 eV, el voltaje del multiplicador del electrón en 2000 V, la temperatura de la fuente de ión a 230 °C, y la temperatura del cuadrupolo en 180 °C. El barrido se realizó de 30 hasta 250 uma y la frecuencia del mismo fue de 3,32 scan/s.

4.1.3.3. Identificación de los compuestos volátiles

Los espectros obtenidos, se compararon con los de referencia recogidas en la librería Willey 275.

La confirmación de las identificaciones se realizó calculando los índices de retención relativos (Van del Dool y Kratz , 1963) de los compuestos volátiles en relación a los tiempos de retención en una serie de parafinas (C5-C18, HP 5080-8768) que se determinaron en las mismas condiciones. Se compararon a su vez con los índices relativos de dichos compuestos hallados en la bibliografía (Kondjoyan y Berdague, 1996).

Los resultados de la cuantificación de cada compuesto detectado se presentan en cuentas de área.

4.2. Análisis sensorial

De las muestras a estudio se hicieron análisis sensoriales y para este trabajo se van a considerar los resultados que se obtuvieron en esos análisis con respecto a los atributos sensoriales. Se estudiará en un apartado la correlación entre los atributos sensoriales que fueron considerados entonces con los compuestos volátiles detectados en los análisis instrumentales de las mismas muestras.

En la tabla 4.2 se muestran los atributos sensoriales que se evaluaron en los análisis sensoriales y que se tendrán en cuenta a la hora de hacer las correlaciones.

Tabla 4.2. Variables sensoriales¹ evaluadas por un panel de consumidores en carne de cordero en función del tipo de concentrado ingerido (Control: pienso comercial; Lino: enriquecido con 10% de semilla de lino; Chía: enriquecido con 10% de semilla de chía).

	<i>Control</i>	<i>Lino</i>	<i>Chía</i>	E.E.	P
Olor	5,19a	5,89b	6,25b	1,095	0,000
Sabor	5,42a	5,57a	6,11b	1,164	0,000
Terneza	6,09	5,73	5,95	1,290	0,170
Jugosidad	5,95	5,72	6,08	1,298	0,170
Valoración global	5,60a	5,62a	6,11b	1,159	0,005

Comparación entre lotes: letras diferentes $P < 0,05$; letras iguales o ausencia de letras $P > 0,05$.

¹ *Escala hedónica (1-8): 1=me desagrada muchísimo; 8=me gusta muchísimo)*

FUENTE: ¹Insausti K; ¹Mendizabal JA; ¹Sarriés MV; ¹Zudaire G; ²Eguinoa P; ¹Arana A; ¹Beriain MJ; ¹Purroy A. ¹ETSIA. Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadia, 31006 Pamplona. ²ITG Ganadero. Avda. Serapio Huici 22. 31610 Villava. Navarra.

4.3. Análisis estadístico

Para el tratamiento estadístico de los datos obtenidos, se empleó el programa estadístico SPSS 19.0.

4.3.1. Análisis de la varianza

4.3.1.1. Modelo para el tratamiento de los datos para el análisis instrumental

Para el análisis de los datos se empleó un modelo lineal univariante (modelo de tipo II), en el que se tomó el siguiente modelo:

- ✓ $Y_{ijkl} = \mu + A_j + e_{ijkl}$
- ✓ Y_{ijkl} : se define como el número de observaciones (compuestos volátiles)
- ✓ μ : media mínimo cuadrática
- ✓ A_j : efecto fijo debido a la alimentación (j=1, lote control; j=2, lote lino; y j=3 lote chía)
- ✓ E_{ijkl} : efecto residual aleatorio.

Así mismo, se aplicó el test a posteriori, Tukey. Se realiza un análisis de la varianza para un factor (dieta).

4.3.2. Análisis de correlación

Se empleó la correlación de Pearson, para relacionar las diferentes variables estudiadas entre sí. Se estudiaron las correlaciones entre los compuestos detectados y entre éstos y con los atributos sensoriales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Perfil de compuestos volátiles en la carne de cordero con diferentes dietas

En el presente trabajo se han estudiado los compuestos volátiles responsables del perfil aromático de la carne de corderos de Raza Navarra, y el efecto de la alimentación en dicho perfil.

Se han identificado un total de 35 compuestos volátiles, de los cuales solamente 26 se han tomado como representativos a la hora de hacer los análisis estadísticos puesto que son las que han aparecido en la mayoría de las muestras analizadas. Estos compuestos químicos pertenecen a distintas familias, entre las que destacarían las siguientes: Aldehídos Alifáticos, Cetonas Alifáticas, Hidrocarburos Alifáticos, Alcoholes Alifáticos, Compuestos Azufrados, Furanos, Hidrocarburos Aromáticos y Terpenoides.

Además de todos los compuestos detectados, también se identificó cloroformo, que posteriormente no fue tenido en cuenta para los análisis estadísticos. No parece claro el origen de este compuesto, aunque parece que se trata de una contaminación. El origen del mismo se ha relacionado con el uso de residuos pesticidas (Flores et al.,1997), aunque otros autores consideran que se trata de una contaminación de laboratorio (Berdagué et al.,1991).

Para la identificación de los compuestos volátiles, se miran varios parámetros fundamentales: Tiempo de retención (T.R), índice de retención relativo (IDB-5). Además se recurre a identificaciones aproximadas por medio de librerías (Wiley) y bibliografía.

Una vez identificados todos los compuestos presentes, en la tabla siguiente se muestra un cuadro resumen de todos los compuestos identificados, y su frecuencia de aparición en las muestras analizadas.

La tabla 5.1 además de mostrar los diferentes compuestos que han aparecido y sus frecuencias en las muestras, se encuentran clasificados por tipo de alimentación.

Tabla 5.1. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra y su frecuencia de aparición.

Nº	FAMILIA Y COMPUESTO	Control (22 muestras)	Lino (22 muestras)	Chía (22 muestras)	COMP. OBJETO DE ESTUDIO
Hidrocarburos alifáticos					
1	Heptano	7	7	15	1
2	Octano	2	6	4	2
3	2,2,4,6,6-Pentametilheptano	9	1	0	3
4	Hexano	0	0	1	
5	3-metiltio-1-propeno	0	0	1	
6	Nonano	0	0	2	
7	Decano	0	1	0	
8	Undecano	0	1	0	
	SUMA	18	16	23	
Aldehídos alifáticos					
9	Etanal	22	22	21	4
10	Isobutanal	17	1	1	5
11	Butanal	0	12	6	6
12	2-metilbutanal	1	1	0	7
13	Pentanal	1	6	10	8
14	1-hexanal	0	1	0	
15	Hexanal	21	19	19	9
16	Heptanal	19	17	22	10
17	Octanal	21	22	19	11
18	Nonanal	22	22	22	12
19	2-nonenal	0	2	0	
20	Decanal	0	3	5	13
21	2-decanal	0	5	8	14
22	Dodecanal	0	1	0	
	SUMA	124	134	133	
Cetonas alifáticas					
23	2-Butanona	1	1	0	15
24	2-Propanona	19	22	19	16
	SUMA	20	23	19	
Compuestos Azufrados					
25	Carbon Disulfuro	0	14	22	17
26	2-tiapropano (dimetil-sulfuro DMS)	22	15	8	18
27	Tiourea	22	8	0	19
	SUMA	44	37	30	
Alcoholes Alifáticos					
28	Etanol	22	22	22	20
29	1-octen-3-ol	0	2	8	21
30	1-pentanol	0	1	0	
31	1-heptanol	0	2	1	22
32	1-octanol	0	1	1	23

	SUMA	22	28	32	
	Furanos				
33	2-pentilfurano	0	5	6	24
	SUMA	0	5	6	
	Terpenoides				
34	Limoneno	0	0	6	25
	SUMA	0	0	6	
	Hidrocarburos Aromáticos				
35	Benceno	0	1	1	26
	SUMA	0	1	1	
	SUMA TOTAL	228	244	250	26

Fueron detectados 35 compuestos volátiles, pertenecientes a diferentes familias.

Se han detectado 10 compuestos de la familia de Hidrocarburos alifáticos, 11 compuestos de la familia de Aldehídos Alifáticos, 2 de Cetonas Alifáticas, 3 de la familia Compuestos Azufrados, 6 de la familia Alcoholes Alifáticos, 1 compuesto de las familias de los Furanos, Terpenoides y Hidrocarburos Aromáticos.

Tanto en este estudio como en el llevado a cabo por Tudela Erro (2006) sobre el perfil aromático de la carne de cordero de Raza Navarra, la familias principales en número de compuestos presentes, son los Hidrocarburos Alifáticos y los Aldehídos Alifáticos. En ambos estudios, el resto de familias han contemplado un menor número de compuestos; siendo, además, con una muy baja frecuencia de aparición como ocurre para los Furanos, Terpenoides e Hidrocarburos aromáticos.

Como se puede observar en la tabla anterior, el número de compuestos presentes es mayor para dieta chía y menor para dieta control.

El estudio de frecuencia de aparición de los compuestos se ha considerado el hacerlo por familias para facilitar la comprensión de los datos obtenidos:

El número de compuestos pertenecientes a la familia de Hidrocarburos Alifáticos no ha sido muy significativo respecto al total de compuestos detectados. Cabe destacar que los únicos compuestos detectados en los tres tipos de dietas ha sido: heptano, octano y 2,2,4,6,6-pentametilheptano, siendo estos tres compuestos los que representan un mayor número dentro

de ésta familia. Son los únicos detectados en dieta control. En dieta lino, además se ha detectado el decano, undecano, no siendo muy significativos en número respecto del total de esta familia. Lo mismo ocurre para dieta chía con los siguientes compuestos: hexano, 3-metil-1-propeno y nonano.

La familia de Aldehídos Alifáticos es sin duda la más significativa respecto del total, ya que supone más del 50 % del total de compuestos. Se encontró en prácticamente la mayoría de las muestras: etanal, hexanal, heptanal, octanal y nonanal. En la dieta control se encuentra muchas muestras isobutanol con respecto a las otras muestras, ocurriendo lo mismo para la dieta lino con butanol. Cabe destacar la detección de compuestos como 2-nonenal, dodecanal, decanal y 2-decenal, para las dietas lino y chía pero con menor presencia numérica respecto al total. La detección de hexanal, heptanal, octanal y nonanal tiene lugar en prácticamente en todas las muestras obtenidas; lo mismo afirma Tudela Erro (2006).

Los compuestos detectados de la familia Cetonas Alifáticas son únicamente dos: 2-butanona y 2-propanona para las dietas control y lino y para la dieta chía solamente se detectó la 2-propanona. La 2-propanona muestra un elevado valor numérico siendo poco considerada la presencia de 2-butanona.

La familia de Compuestos Azufrados está compuesta por: carbono disulfuro, 2-tiopropano y tiourea. Carbono disulfuro no fue detectado en dieta control y tiourea no fue detectada en dieta chía.

Los Alcoholes se componen por: etanol, que aparece en todas las muestras de todas las dietas; 1-octen-3-ol, 2-metilbutanol, 1-pentanol, 1-heptanol y 1-octanol, cuya presencia no es muy relevante.

El único compuesto que pertenece a la familia de los Furanos es el 2-pentilfuran, de poca presencia, y solo para dietas lino y chía.

La familia de los Terpenoides solo se compone por un compuesto, limoneno, que se encuentra en dieta chía.

El benceno es el único compuesto detectado que pertenece a la familia de Hidrocarburos Aromáticos, detectado en lino y chía, pero que no ha sido estudiada porque solo se ha detectado en una muestra de cada dieta.

En la tabla 5.2 aparecen los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza, además de mostrar el Tiempo de Retención y el índice de Retención Relativo para I DB-5, muestra las identificaciones IR (Índice de Retención) y MS (espectrofotometría de masas), la media mínimo cuadrática del valor detectado de área y el porcentaje relativo de dicha área respecto a la total (PRA). Al lado del compuesto, entre paréntesis, aparece del orden de elución de los diferentes compuestos. En esta tabla vienen reflejados los compuestos volátiles más representativos, es decir los que aparecen en la mayoría de las muestras y con los que posteriormente se realiza en análisis estadístico.

Tabla 5.2. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *logissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra (Media Áreas * 10⁴).

FAMILIA	COMPUESTO	TR (min)	I - DB - 5	IR	MS	ÁREA	PRA %
Hidrocarburos alifáticos	Heptano (13)	13,831	688,60	+	+	1129	2,05
	Octano (14)	21,435	793,31	+	+	1551	2,82
	2,2,4,6,6-Pentametilheptano (20)	28,560	973,04	+	+	210	0,38
Aldehídos alifáticos	Etanal (1)	3,047	?		+	1258	2,29
	Isobutanal (7)	5,484	545,17	+	+	566	1,03
	Butanal (8)	6,231	570,86	+	+	516	0,94
	2-metilbutanal (11)	10,715	647,72	+	+	1213	2,20
	Pentanal (12)	13,717	687,10	+	+	1124	2,04
	Hexanal (15)	21,453	793,56	+	+	6628	12,04
	Heptanal (16)	25,695	892,03	+	+	2559	4,65
	Octanal (22)	28,823	980,60	+	+	3125	5,68
	Nonanal (24)	31,401	1087,99	+	+	4038	7,33
	Decanal (25)	33,748	1095,04	+	+	845	1,53
	2-decenal (26)	34,906	1224,042	+	+	3033	5,51
Cetonas alifáticas	2-Propanona (3)	4,036	?		+	14074	25,56
	2-butanona (9)	6,805	590,61	+	+	466	0,85
Compuestos	Carbon Disulfuro (6)	4,995	528,35	+	+	2848	5,17

Azufrados	2-tiapropano (4)	4,570	513,73	+	+	391	0,71
	tiourea (5)	4,990	528,173	+	+	1516	2,75
Alcoholes	Etanol (2)	3,599	?		+	4142	7,52
Alifáticos	1-octen-3-ol (18)	28,127	960,58	+	+	793	1,44
	1-heptanol (17)	27,872	953,24	+	+	529	0,96
	1-octanol (21)	28,667	976,12	+	+	1003	1,82
Furanos	2-pentilfurano (19)	28,525	972,03	+	+	462	0,84
Terpenoides	Limoneno (23)	29,702	1009,47	+	+	162	0,29
Hidrocarburos							
Aromáticos	Benceno (10)	10,552	645,58	+	+	259	0,47

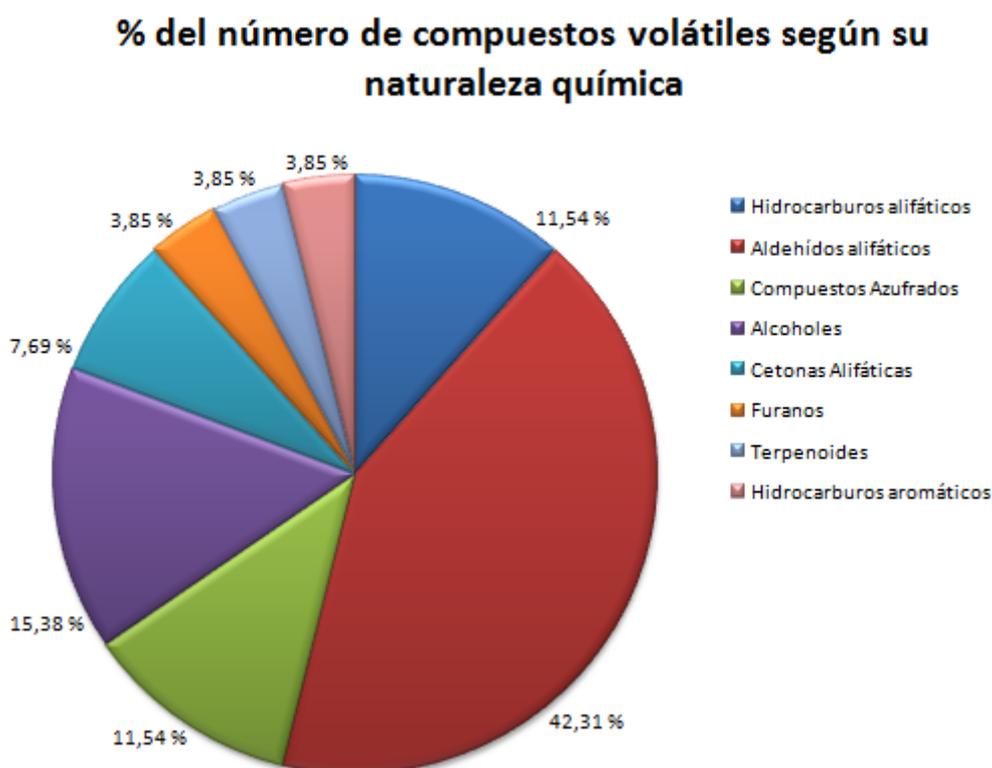
En la tabla 5.3., aparecen los porcentajes correspondientes al número de compuestos por familias.

Tabla 5.3. Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra

COMPUESTOS VOLÁTILES	Nº	%
Hidrocarburos alifáticos	3	11,54
Aldehídos alifáticos	10	38,46
Compuestos Azufrados	3	11,54
Alcoholes	5	19,23
Cetonas Alifáticas	2	7,69
Furanos	1	3,85
Terpenoides	1	3,85
Hidrocarburos aromáticos	1	3,85
TOTAL	26	100,00

En el gráfico se muestra gráficamente los porcentajes obtenidos de los diferentes compuestos volátiles para cada familia.

Gráfico 5.1. Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectado en el espacio de cabeza dinámico de muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra.



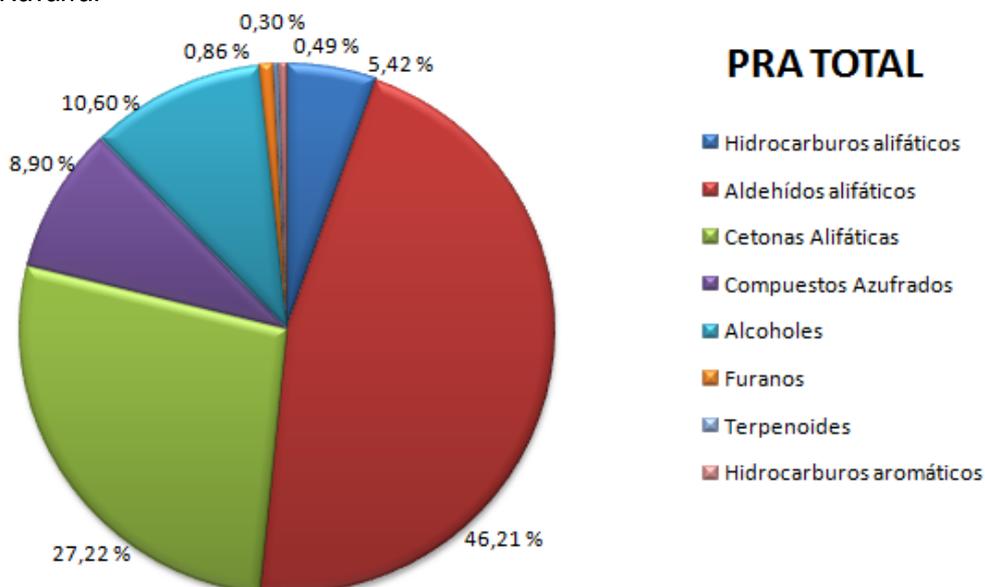
Como se observa tanto en el gráfico como en la tabla, el mayor número de compuestos corresponde a la familia de Aldehídos Alifáticos (42.31%), seguida de los Alcoholes (15.38%), Hidrocarburos Alifáticos y Compuestos Azufrados (11.54%), representando el resto de familia un porcentaje minoritario.

A continuación, vienen representados los porcentajes relativos de área de los compuestos por familias con una tabla y su gráfico correspondiente.

Tabla 5.4. Porcentaje relativo del área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra (Media Áreas * 10⁴).

COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Hidrocarburos alifáticos	2896	5,42
Aldehídos alifáticos	24687	46,21
Cetonas Alifáticas	14540	27,22
Compuestos Azufrados	4755	8,90
Alcoholes	5664	10,60
Furanos	461	0,86
Terpenoides	162	0,30
Hidrocarburos aromáticos	260	0,49
TOTAL	53425	100,00

Gráfico 5.2. Porcentaje relativo de área (PRA) de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra.



La familia de Aldehídos Alifáticos ha seguido siendo la más importante debido a que todos sus compuestos ocupan un gran porcentaje de área relativa, primando el hexanal con un 12.04% y el nonanal con un PRA de 7.33 %. Esta familia parece ser producto mayoritario de la degradación lipídica y además parece estar asociado al flavor característico de cada especie animal (Mottram,1998). El hexanal, se obtiene a partir del ácido graso linoleico y araquidónico siendo este compuesto uno de los productos principales de la oxidación lipídica. Tiene un elevado potencial aromático, con notas a hierba cortada y césped, y con solo trazas, ya contribuye al flavor. Su presencia se relaciona con una alimentación a base de grano. (Shahidi et. al, 1986; Young et al. 2003) El nonanal se obtiene de la oxidación del C18:1n9 tal y como describió Belitz (1987).

A diferencia del gráfico representativo de número de compuestos, se aprecia que la segunda familia más importante por su PRA han sido las Cetonas Alifáticas, con un 27.22%, debido al área de la 2-propanona, que representa un elevado porcentaje (25.56%). Manley (1998) asoció que la oxidación y las altas temperaturas hacen que se formen estos compuestos. La 2-propanona es el compuesto volátil detectado con mayor PRA en carne cocinada de cordero, no solo en este trabajo, sino que también esto ha sido observado por otros autores en carne cocinada (Gorraiz, et al., 2002) y en carne fresca (Gorraiz el al., 2002). Se correlaciona positivamente, con atributos sensoriales como el flavor a hígado el flavor a agrio (Larrick and Turner,1990) El umbral de detección de los compuestos de esta familia, es muy bajo, (Forss,1972), y están asociados a olores cremosos, a leche y a quesos.

Los Alcoholes Alifáticos tienen un PRA de 10.60 %, donde el componente mayoritario ha sido el etanol con 7.52% de PRA, seguido de 1-octen-3-ol con 1.44% de PRA, tomando valores próximos a este el 1-heptanol y 1-octanol. El etanol se asocia con olores dulces; el 1-octen-3-ol, con olores balsámicos (Acree & Aru, 1997). Y el 1-heptanol se asocia con olores a setas (Peterson and Chang,1982)

Los Compuestos Azufrados toman un PRA de 8.90 %, siendo el carbono disulfuro el mayoritario con un 5.17 %, y la tiourea con un 2.75 % de PRA y finalmente el 2-tiapropano con un bajo valor numérico. Estos compuestos tienen un flavor de elevada intensidad, con umbrales de detección muy bajos. Su presencia en trazas ya es efectiva en la formación del aroma y contribuye en gran medida al flavor de la carne (Ramarhnam et al., 1993). Se originan de la degradación de compuestos que contienen azufre, como los aminoácidos (Herbert and others,1994).

Los Hidrocarburos Alifáticos presentan un PRA de 5.42%, ya que los compuestos volátiles pertenecientes a ella toman valores muy pequeños de PRA. Cabe destacar que pese a que se originen a partir de oxidación lipídica, no van a tener una contribución significativa en el flavor de la carne (Shahidi et. al, 1986) y no son particularmente olorosos. Además sus umbrales de detección son muy altos (Frankel, 1984). Según Gorraiz (2002) el 2,2,4,6,6-pentametilheptano está asociado con el flavor característico de la carne de cordero y de la grasa.

El resto de familias: furanos, terpenoides e hidrocarburos aromáticos hanpresentando un PRA muy poco significativo.

La familia de Hidrocarburos Aromáticos, con el Benceno como único componente, presenta un PRA de 0.30 %, y contribuye al flavor de la carne, con sabores a mantequilla (McLeod and Ames, 1986)

En las tablas que se muestran a continuación se indica el porcentaje de área relativa de las diferentes familias para los distintos tipos de dieta, y a continuación los gráficos correspondientes a cada tabla facilitando su comprensión

Tablas 5.5, 5.6 Y 5.7. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra, para los tres tipos de alimentación (Media Áreas * 10⁴).

CONTROL		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Hidrocarburos alifáticos	485	4,15
Aldehídos alifáticos	3665	31,42
Cetonas Alifáticas	4022	34,48
Compuestos Azufrados	919	7,88
Alcoholes	2574	22,06
Furanos	0	0,00
Terpenoides	0	0,00
Hidrocarburos aromáticos	0	0,00
TOTAL	11664	100,00

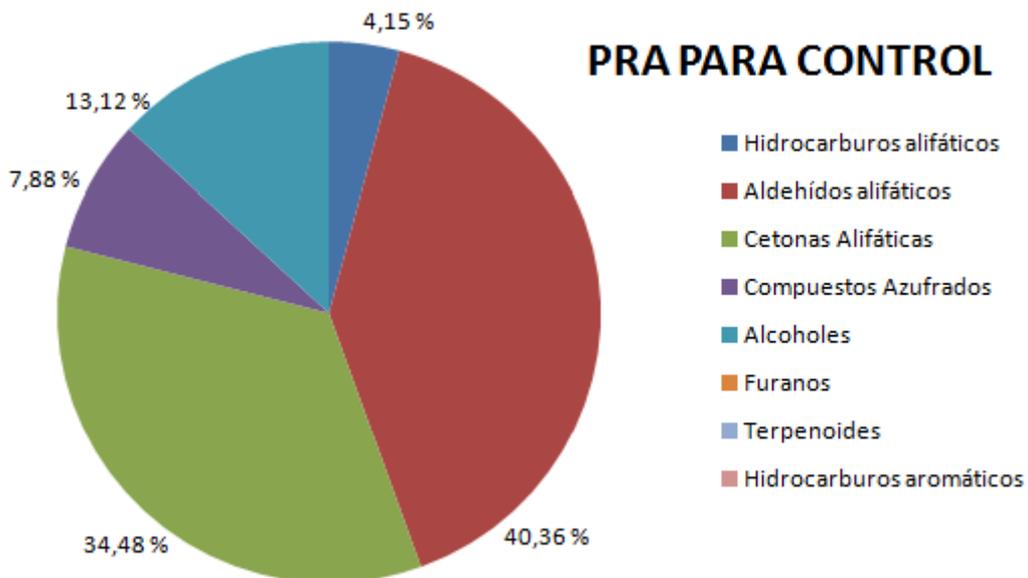
LINO

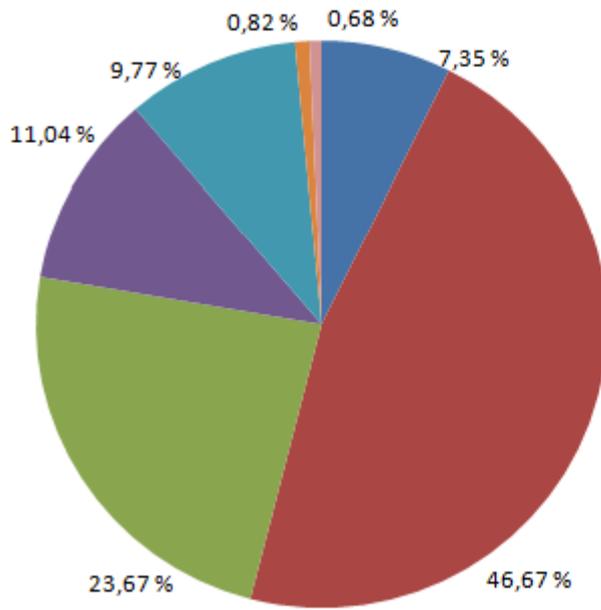
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Hidrocarburos alifáticos	1392	7,35
Aldehídos alifáticos	8670	45,77
Cetonas Alifáticas	4483	23,67
Compuestos Azufrados	2091	11,04
Alcoholes	2021	10,67
Furanos	155	0,82
Terpenoides	0	0,00
Hidrocarburos aromáticos	129	0,68
TOTAL	18942	100,00

CHÍA

COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Hidrocarburos alifáticos	1019	4,47
Aldehídos alifáticos	11139	48,82
Cetonas Alifáticas	6035	26,45
Compuestos Azufrados	1745	7,65
Alcoholes	2282	10,00
Furanos	306	1,34
Terpenoides	162	0,71
Hidrocarburos aromáticos	130	0,57
TOTAL	22818	100,00

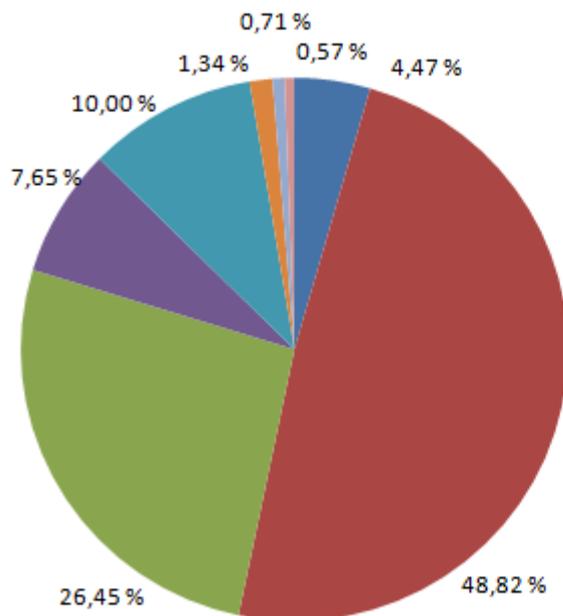
Gráficos 5.3, 5.4 y 5.5. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico del músculo longissimus dorsi de ternera de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación.





PRA PARA LINO

- Hidrocarburos alifáticos
- Aldehídos alifáticos
- Cetonas Alifáticas
- Compuestos Azufrados
- Alcoholes
- Furanos
- Terpenoides
- Hidrocarburos aromáticos



PRA PARA CHÍA

- Hidrocarburos alifáticos
- Aldehídos alifáticos
- Cetonas Alifáticas
- Compuestos Azufrados
- Alcoholes
- Furanos
- Terpenoides
- Hidrocarburos aromáticos

Para un estudio más concreto de la influencia de la dieta en la detección de compuestos volátiles, se va a realizar un estudio de los mismos y sus familias por tipo de dieta:

Para la dieta control se han obtenido las siguientes consideraciones:

La familia mayoritaria son los Aldehídos Alifáticos con un 40.36 % de PRA donde el hexanal sigue siendo el componente más relevante con un 14.69 % de PRA, seguido del 2-metilbutanal con un 8.63 %.

La siguiente familia en importancia son las Cetonas Alifáticas con un 34.48 % de PRA. En esta dieta, únicamente aparece la 2-propanona con 33.29 % de PRA siendo el mayor porcentaje de éste compuesto para las tres dietas.

Los Alcoholes han presentado un PRA de 13.12% siendo su único compuesto el etanol, el cual irá reduciendo su presencia para las dietas lino y chía.

Los Compuestos Azufrados tienen un PRA del 7.8 %, siendo el compuesto mayoritario la tiourea con un 6.69 % de PRA. El carbono disulfuro no se ha detectado para esta dieta.

Los Hidrocarburos Alifáticos presentan un PRA de 4.15 %, no siendo muy significativa para el total del PRA en esta dieta.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para la dieta lino:

La familia de mayor importancia es también la familia de Aldehídos Alifáticos, con un PRA de 46.67 %, donde el hexanal toma un valor de 10.19% y aparece el 2-decenal con 10.09%, siendo estos compuestos los más representativos.

Las Cetonas Alifáticas son la siguiente familia más representativa con un 23.67 % de PRA, donde la 2-propanona sigue siendo el compuesto mayoritario con 21.66 % de PRA.

La familia de Compuestos Azufrados toma un valor de PRA de 11.04 %. En esta familia el compuesto más significativo es el carbono disulfuro con 6.34% de PRA.

La siguiente familia a estudio han sido los Alcoholes, con un 9.77 % de PRA, donde el etanol sigue siendo el más importante con un 6.08 %, y aparecen nuevos compuestos, pero poco significativos en PRA como: 1-octen-3-ol, 1-heptanol, 1-octanol.

Los Hidrocarburos Alifáticos presentan un PRA de 7.35 %, siendo el componente mayoritario el octano con 4.41 % de PRA.

La familia de los Furanos e Hidrocarburos Aromáticos se han mostrado en esta dieta con valores de 0.82 y 0.68% de PRA respectivamente.

Los furanos tienen propiedades aromáticas que no son muy apreciadas por los catadores, presentando notas a éter, dulce, caramelo y desagradable. El 2-pentilfurano cuya formación se asocia a la autooxidación del ácido linoléico, presentando notas herbáceas y de legumbres (Belitz, 1987)

Finalmente, estas son las afirmaciones que se pueden destacar para dieta chía:

La familia de Aldehídos Alifáticos ha sido la más representativa con un 48.82 % de PRA, siendo el hexanal con un 12.22 % de PRA, el nonanal con 8.61 % y el octanal con 7.63 % los más representativos de esta familia.

Las Cetonas Alifáticas, han seguido siendo una familia importante con un 26.45 % de PRA. La 2-propanona es el componente mayoritario con 24.85 %.

Los Alcoholes han presentado cierta importancia en esta dieta, con un 10.00 % de PRA, donde el etanol se mantiene con un 6.08% de PRA y el resto de compuestos aumenta su PRA respecto a las otras dietas.

La familia de los Compuestos Azufrados han tomado un valor de 7.65 % de PRA. En esta dieta no se ha detectado tiourea, y el carbono disulfuro ha mostrado un valor de 6.88 %.

Los Hidrocarburos Alifáticos con un PRA de 4.47 %, familia a la que pertenecen: heptano con 2.01 % y octano con 2.36 % de PRA, no detectándose 2,2,4,6,6-pentametilheptano en esta dieta.

La familia de los Furanos (1.34 % PRA), Hidrocarburos Aromáticos (0.57% de PRA) y Terpenoides (0.71 % de PRA), no se consideran muy significativos.

Con todo lo explicado anteriormente, se puede concluir que:

En dieta control, no se han detectado compuestos volátiles de las familias Furanos, Terpenoides e Hidrocarburos Aromáticos; en dieta lino se han detectado Furanos e Hidrocarburos Aromáticos, y en dieta chía, todos compuestos de estas familias.

La familia de Aldehídos Alifáticos, ha mostrado un mayor porcentaje de área relativa en dieta chía y menor en dieta control, ya que en esta última, compuestos como el decanal, y el 2-decenal no aparecen. El hexanal ha sido el compuesto de esta familia más representativo para las tres dietas, tomando más importancia el 2-decenal para lino y chía. En esta última dieta, también toman relevancia el nonanal y el octanal.

Referente a la familia de Compuestos Azufrados, la presencia de la tiourea en dieta control, se ve sustituida por la presencia de carbono disulfuro en dieta chía, encontrándose ambos en dieta lino.

En la dieta control, la familia de Alcoholes, ha sido en la única dieta que está representada esta familia por un único compuesto volátil que es el etanol, en el resto de dietas hay más compuestos de esta familia.

La familia de los Terpenoides solamente se ha detectado en dieta chía representada por el limoneno.

5.2. Efecto de la dieta en el perfil de compuestos volátiles

En la tabla 5.8 aparece representado la significación de las tres dietas en los diferentes compuestos volátiles detectados.

Tabla 5.8. Niveles de significación estadística para el factor alimentación en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra (Media Áreas * 10⁴)

	Dieta control	Dieta lino	Dieta Chía	SEM	Significación
FAMILIAS Y COMPUESTOS	Media de áreas	Media de áreas	Media de áreas		
HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS					
Heptano	234	426	469	1,185	NS
Octano	139	868	550	16,576	NS
2,2,4,6,6-pentametilheptano	111	99		0,153	***
ALDHEÍDOS ALIFÁTICOS					
Etanal	482	420	356	3,236	***
Isobutanal	175	170	221	0,98	***
Butanal		141	375	0,151	**
Pentanal	24	361	522	0,508	**
Hexanal	1775	2006	2847	81,221	NS
Heptanal	240	930	1389	11,517	***
Octanal	335	1013	1777	15,385	*
Nonanal	633	1400	2005	14,217	NS
Decanal		245	600	0,191	NS
2-decenal		1986	1047	7,762	NS
CETÓNAS ALIFÁTICAS					
2-propanona	4022	4263	5729	249,459	NS
2-butanona	220	246		0,151	NS

COMPUESTOS AZUFRADOS

Carbon Disulfuro		1426	1601	18,022	***
2-tiapropano	110	137	144	0,507	***
Tiourea	809	707		20,75	***

ALCOHOLES ALIFÁTICOS

Etanol	1531	1196	1415	67,955	*
1-octen-3-ol		306	487	1,125	*
1-heptanol		260	269	0,166	NS
1-octanol		892	111	0,005	NS

FURANOS

2-pentilfurano		155	306	0,105	*
----------------	--	-----	-----	-------	---

TERPENOIDES

Limoneno			162	0,121	*
----------	--	--	-----	-------	---

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS

Benceno		129	13	0,014	NS
---------	--	-----	----	-------	----

El estudio de los resultados del efecto dieta, se va a realizar por familias químicas:

La familia de Hidrocarburos Alifáticos, está compuesta por heptano y el octano, presentes en las tres dietas con un PRA mayor para dieta lino, pero no siendo significativos para ningún tipo de dieta. Sin embargo, el 2,2,4,6,6-pentametilheptano sólo está presente en dieta control y lino y ha presentado un nivel de significación de $p < 0.001$.

El hexanal es el compuesto con mayor PRA de la familia de Aldehídos Alifáticos, pero no ha sido significativo en el efecto dieta. Sin embargo, el etanal, isobutanal y heptanal, han mostrado un nivel de significación de $p < 0.001$, seguidos del butanal y el pentanal con $p < 0.01$, y el octanal con $p < 0.05$. Aunque no es mucha la diferencia, el etanal, que está relacionado con malos olores, viene indicado con un PRA menor para dieta chía de 1.53 % frente a la dieta control con un 3.99 % de PRA.

Los compuestos pertenecientes a la familia de Cetonas Alifáticas, no han presentado significación para el efecto dieta, a pesar de que la 2-propanona sea el compuesto con mayor PRA de todos los detectados. Esto es debido a que las diferencias deberían ser muy grandes para que este compuesto mostrase significación.

Los tres compuestos pertenecientes a la familia de compuestos Azufrados (carbono disulfuro, 2-tiopropano y tiourea) han mostrado un nivel de significación de $p < 0.001$ para el efecto dieta. Posteriormente se observará la influencia tanto de carbono disulfuro como de tiourea

Respecto a la familia de Alcohóles Alifáticos, los únicos compuestos que han presentado significación son el etanol, y el 1-octen-3-ol con $p < 0.05$.

El 2-pentilfurano (furano) y el limoneno (terpenoide) han presentado significación para el efecto dieta con $p < 0.05$. El benceno (Hidrocarburo Aromático) no presenta significación.

5.3. Análisis de correlación entre las variables de los compuestos volátiles

La tabla 9 muestra las correlaciones entre los compuestos volátiles detectados en el análisis instrumental.

Tabla 5.9. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en las muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra.

COMPUESTO	Etanal	Etanol	2-propanona	2-tiapropano	Carbono Disulfuro	Tiourea	Isobutanal	Butanal	2-butanona
Etanol	0,266	-	-	-	-	-	-	-	-
2-propanona	0,126	-0,143	-	-	-	-	-	-	-
2-tiapropano	0,241	-0,321**	0,225	-	-	-	-	-	-
Carbono Disulfuro	-0,530**	-0,302*	-0,338**	-0,381**	-	-	-	-	-
Tiourea	0,067	0,098	0,001	0,078	0,037	-	-	-	-
Isobutanal	0,371**	0,078	0,109	0,240	-0,379**	0,029	-	-	-
Butanal	0,263*	-0,459**	-0,305*	-0,344**	0,300**	-0,366**	-0,223	-	-
2-butanona	0,067	-0,090	0,096	0,054	0,157	0,161	0,018	-0,098	-
Benceno	0,124	-0,151	-0,039	-0,187	0,178	0,017	-0,078	-0,043	-0,037
2-metilbutanal	0,132	0,018	-0,047	0,056	-0,087	0,081	0,705**	0,030	-0,024
Pentanal	-0,417**	-0,410**	-0,579**	-0,388**	0,259*	0,313*	-0,182	0,688**	-0,084
Heptano	0,235	-0,467**	-0,425**	-0,352**	0,197	-0,018	-0,186	-0,311*	0,084
Octano	0,072	0,050	0,149	0,060	0,003	-0,219	-0,064	-0,051	-0,050
Hexanal	0,314*	0,023	-0,456**	-0,125	-0,166	-0,070	0,086	0,133	0,019
Heptanal	-0,567**	-0,416**	-0,648**	-0,408**	-0,465**	-0,261*	-0,240	0,589**	-0,089
1-heptanol	-0,215	-0,220	-0,268*	-0,138	0,222	-0,147	-0,040	0,395**	-0,028
1-octen-3-ol	0,179	-0,103	0,265*	-0,254*	0,156	0,001	-0,137	0,002	-0,054
2-pentilfurano	-0,400**	0,461**	0,358**	-0,335**	0,244*	-0,216	-0,131	0,538**	-0,073
2,2,4,6,6-pentametilheptano	0,388**	0,081	0,110	0,218	-0,380**	0,011	0,593**	-0,238	-0,075
1-octanol	-0,163	-0,179	-0,610	-0,188	0,069	-0,122	-0,078	0,232	-0,031
Octanal	0,486**	0,398**	-0,599**	0,293*	0,383**	0,311*	-0,195	0,625**	-0,085
Limoneno	0,238	0,134	0,151	-0,271*	0,362**	-0,054	-0,116	-0,066	-0,046
Nonanal	-0,333**	0,143	-0,497**	-0,102	0,189	0,318**	-0,181	0,401**	-0,022
Decanal	-0,322**	-0,368**	-0,276**	-0,305*	0,086	0,255*	-0,152	0,445**	-0,060
2-decenal	-0,382**	-0,384**	-0,384**	-0,299*	0,231	-0,309*	-0,158	0,469**	-0,063

	Benceno	2- metilbutanal	Pentanal	Heptano	Octano	Hexanal	Heptanal	1-heptanol	1-octen-3-ol
Etanol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-propanona	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-tiapropano	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbono Disulfuro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tiourea	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isobutanal	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Butanal	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-butanona	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benceno	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-metilbutanal	-0,024	-	-	-	-	-	-	-	-
Pentanal	0,040	-0,017	-	-	-	-	-	-	-
Heptano	0,211	-0,070	0,539**	-	-	-	-	-	-
Octano	-0,500	-0,039	0,137	-0,105	-	-	-	-	-
Hexanal	-0,001	0,001	0,250*	0,210	0,413**	-	-	-	-
Heptanal	0,150	-0,027	0,851**	0,621**	0,162	0,115	-	-	-
1-heptanol	-0,028	0,087	0,437**	0,300*	-0,046	0,043	0,558**	-	-
1-octen-3-ol	0,202	-0,042	0,202	0,163	-0,089	0,099	0,198	-0,046	-
2-pentilfurano	0,278*	-0,021	0,655	0,576	-0,120	-0,013	0,753	0,434**	0,309*
2,2,4,6,6-pentametilheptano	-0,075	0,211	-0,203	-0,109	-0,058	0,161	-0,270*	-0,069	-0,131
1-octanol	0,412**	-0,240	0,191	0,172	-0,051	-0,029	0,265*	-0,029	0,134
Octanal	-0,021	-0,012	0,791**	0,541**	-0,078	-0,010	0,896**	0,549**	0,171
Limoneno	0,251**	-0,036	0,042	0,091	-0,031	-0,031	0,129	-0,042	0,030
Nonanal	-0,032	-0,028	0,535**	0,358**	-0,016	-0,119	0,567**	0,208	0,257*
Decanal	0,184	-0,047	0,552**	0,446**	-0,099	0,002	0,509**	-0,050	0,317**
2-decenal	0,146	-0,049	0,598**	0,362**	-0,099	-0,039	0,630**	-0,053	0,111

	2- pentilfurano	2,2,4,6,6- pentametilheptano	1-octanol	Octanal	Limoneno	Nonanal	Decanal
Etanol	-	-	-	-	-	-	-
2-propanona	-	-	-	-	-	-	-
2-tiapropano	-	-	-	-	-	-	-
Carbono Disulfuro	-	-	-	-	-	-	-
Tiourea	-	-	-	-	-	-	-
Isobutanal	-	-	-	-	-	-	-
Butanal	-	-	-	-	-	-	-
2-butanona	-	-	-	-	-	-	-
Benceno	-	-	-	-	-	-	-
2-metilbutanal	-	-	-	-	-	-	-
Pentanal	-	-	-	-	-	-	-
Heptano	-	-	-	-	-	-	-
Octano	-	-	-	-	-	-	-
Hexanal	-	-	-	-	-	-	-
Heptanal	-	-	-	-	-	-	-
1-heptanol	-	-	-	-	-	-	-
1-octen-3-ol	-	-	-	-	-	-	-
2-pentilfurano	-	-	-	-	-	-	-
2,2,4,6,6- pentametilheptano	-0,178	-	-	-	-	-	-
1-octanol	0,256*	-0,075	-	-	-	-	-
Octanal	0,726**	-0,227	0,278*	-	-	-	-
Limoneno	0,056	-0,111	-0,046	-0,023	-	-	-
Nonanal	0,380**	-0,160	0,298**	0,667**	0,020	-	-
Decanal	0,545**	-0,146	0,547**	0,529**	0,018	0,582**	-
2-decenal	0,484**	-0,152	0,433**	0,642**	0,045	0,519**	0,502**

El estudio de las correlaciones se ha considerado hacerlo de forma global para el efecto dieta debido a que al hacerlo de forma segmentada por dieta las correlaciones obtenidas corroboran lo que se observa en la tabla general; y por familias, puesto que así se facilita la comprensión de los datos obtenidos.

Se ve claramente como la familia de los Aldehídos Alifáticos ha sido la familia que más correlaciones presenta, tanto entre compuestos de su misma familia ($p < 0.01$), como con las otras familias presentes. Siendo significativo que la 2- propanona ha presentado una correlación negativa con todos los compuestos de esta familia, salvo con el octanal. Destacar la similitud entre las correlaciones globales y las segmentadas para la dieta lino, al contrario que ocurre para la dieta chía en la que no se han observado a penas significaciones.

En la familia de los Furanos, el único compuesto volátil presente, el 2-pentilfurano, ha mostrado correlación además de con los Aldehídos Alifáticos, con los Alcoholes, y con los tres Compuestos Azufrados.

La familia de los Alcoholes, mayoritariamente han mostrado correlación con los Aldehídos Alifáticos y con los Furanos, siendo las correlaciones con otras familias poco considerables.

La familia de las Cetonas Alifáticas sólo tiene un compuesto que ha presentado correlación con otros compuestos, 2-propanona, y que también es negativa con la familia de Hidrocarburos Alifáticos.

5.4. Análisis de correlación entre los compuestos volátiles y los atributos sensoriales

A continuación, se muestra la correlación existente entre los atributos sensoriales objeto de estudio para su mejor comprensión posterior con los compuestos volátiles.

Tabla 5.10. Coeficientes de correlación de Pearson entre los atributos sensoriales analizados en panel de cata.

	SABOR	OLOR	TERNEZA	JUGOSIDAD
OLOR	0,765**	-	-	-
TERNEZA	0,362*	0,439**	-	-
JUGOSIDAD	0,508**	0,539**	0,856**	-
VALORACIÓN GOBAL	0,749**	0,842**	0,747**	0,813**

Se puede observar como todos los descriptores están positivamente relacionados. La terneza es el único atributo que presenta un nivel de significación menor. Esto no es importante porque la relación con compuestos volátiles no es relevante ni para la terneza ni para la jugosidad como veremos en la tabla siguiente.

La tabla 5.11 muestra las correlaciones entre los compuestos volátiles detectados en el análisis instrumental y los atributos sensoriales que evaluó un panel de consumidores.

Tabla 5.11. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental y los atributos sensoriales, en las muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra.

COMPUESTOS	OLOR	SABOR	TERNEZA	JUGOSIDAD	VALORACIÓN GOBAL
ETANAL	-0,650**	-0,555**	0,634	0,069	-0,388**
ETANOL	-0,414**	-0,092	0,462	0,201	0,151
2-PROPANONA	-0,343	-0,238	0,392	0,156	0,045
2-TIAPROPANO	-0,418	-0,359	0,499	0,268	-0,034
CARBONO DISULFURO	0,551**	0,403*	-0,546	-0,443	-0,018
TIOUREA	-0,540**	-0,437*	0,324	-0,001	-0,096
ISOBUTANAL	-0,532**	-0,548*	0,650	0,497	-0,395**
BUTANAL	0,521	0,198	-0,548	-0,209	0,058
2-BUTANONA	-0,109	-0,249	0,223	0,175	-0,171
BENCENO	0,440	0,246	-0,308	-0,398	-0,047
2-METILBUTANAL	-0,448**	-0,489**	0,366	0,396	-0,458**
PENTANAL	0,313	0,152	-0,488	-0,014	0,158
HEPTANO	0,237	-0,022	-0,206	-0,097	0,131
OCTANO	0,225	0,335	-0,319	-0,260	0,120
HEXANAL	-0,063*	0,125	-0,102	-0,097	0,401*
HEPTANAL	0,364**	-0,122	-0,467	-0,070	-0,115
1-HEPTANOL	0,283	-0,045	-0,195	0,101	-0,386
1-OCTEN-3-OL	0,248	0,283	-0,436	-0,143	0,218
2-PENTILFURANO	0,387**	0,128	-0,510	-0,163	-0,094
2,2,4,6,6-PENTAMETILHEPTANO	-0,426**	-0,373**	0,570	0,275	-0,183
1-OCTANOL	0,390*	-0,230	-0,184	-0,006	-0,103
OCTANAL	0,358**	0,110	-0,482	-0,074	-0,118
LIMONENO	0,254	0,360*	-0,260	-0,371	0,064
NONANAL	0,463	0,120	-0,365**	-0,120	-0,111
DECANAL	0,394*	-0,069	-375	-0,022	0,131
2-DECENAL	0,346	0,053	-377	0,013	-0,336

Los atributos sensoriales más importantes de la carne que influyeron en la valoración global fueron el aroma y el sabor (Tabla 4.2.). La carne mejor valorada fue la de los animales que habían consumido chía, principalmente por su mejor sabor ($P < 0,05$), lo que se tradujo así mismo en una mejor nota de valoración global ($P < 0,05$). Estos resultados coinciden así mismo con los obtenidos en carne de porcino cebado con raciones enriquecidas con semilla de chía (Coates y Ayerza, 2009), de manera que el flavor y el aroma se vieron significativamente mejorados en la carne de animales alimentados con chía.

La valoración global es el atributo sensorial más importante, ya que es la evaluación final de cada muestra. Dentro de este atributo los compuestos que han mostrado significación pertenecen a la familia de Aldehídos Alifáticos y son: etanal, isobutanal, 2-metilbutanal y hexanal. Este último es el único compuesto relacionado positivamente con este atributo, de tal forma que a mayor cantidad de este compuesto mayor valoración global.

El olor y el sabor han mostrado mayor número de correlaciones que otros atributos, con compuestos de la familia de Aldehídos Alifáticos porque estudiamos compuestos volátiles relacionados con el flavor de la carne de cordero. Muchos de los compuestos relacionados con estos dos atributos, han presentado correlaciones negativas, lo que significa que a menores contenidos, la valoración será mayor para este atributo. De esta familia, 7 de 9 compuestos muestran correlaciones, sobre todo con el olor. El 2-metilbutanal y el isobutanal han mostrado una correlación negativa tanto con el olor como con el sabor; la ausencia del primer compuesto y el bajo PRA del segundo compuesto en chíá, parecen ser una de las causas de la alta valoración de este tipo de carne por los catadores. Otra característica importante a destacar es la asociación del etanal con los malos olores; este compuesto muestra un elevado PRA para la dieta control (12,68 % de PRA), y sin embargo su presencia en dieta lino y chíá es bastante más reducida (6,08 % de PRA).

De la familia de los Hidrocarburos Alifáticos, sólo el 2,2,4,6,6-pentametilheptano, ha presentado correlaciones y son de signo negativo. Este compuesto está presente en dieta control y en lino, por lo que se relaciona también con la alta valoración de las muestras de chíá, al no estar presente en ellas.

La familia de los Compuestos Azufrados, se ha correlacionado con el sabor y el olor. Cabe destacar que el carbono disulfuro ha presentado una correlación positiva con el olor y el sabor, favoreciendo una mayor calidad sensorial, además este compuesto muestra un alto PRA para lino y para chíá, al contrario que ocurre para dieta control. Tiourea, se ha correlacionado negativamente con ambos atributos, esto implica que las muestras de carne de corderos alimentados con chíá obtuviesen la nota más elevada, y las muestras de carne alimentadas con dieta control en las que este compuesto tiene un elevado PRA, la más baja, debido a que tiourea no ha estado presente en las muestras con chíá. Ambos compuestos han sido muy significativos para el efecto dieta.

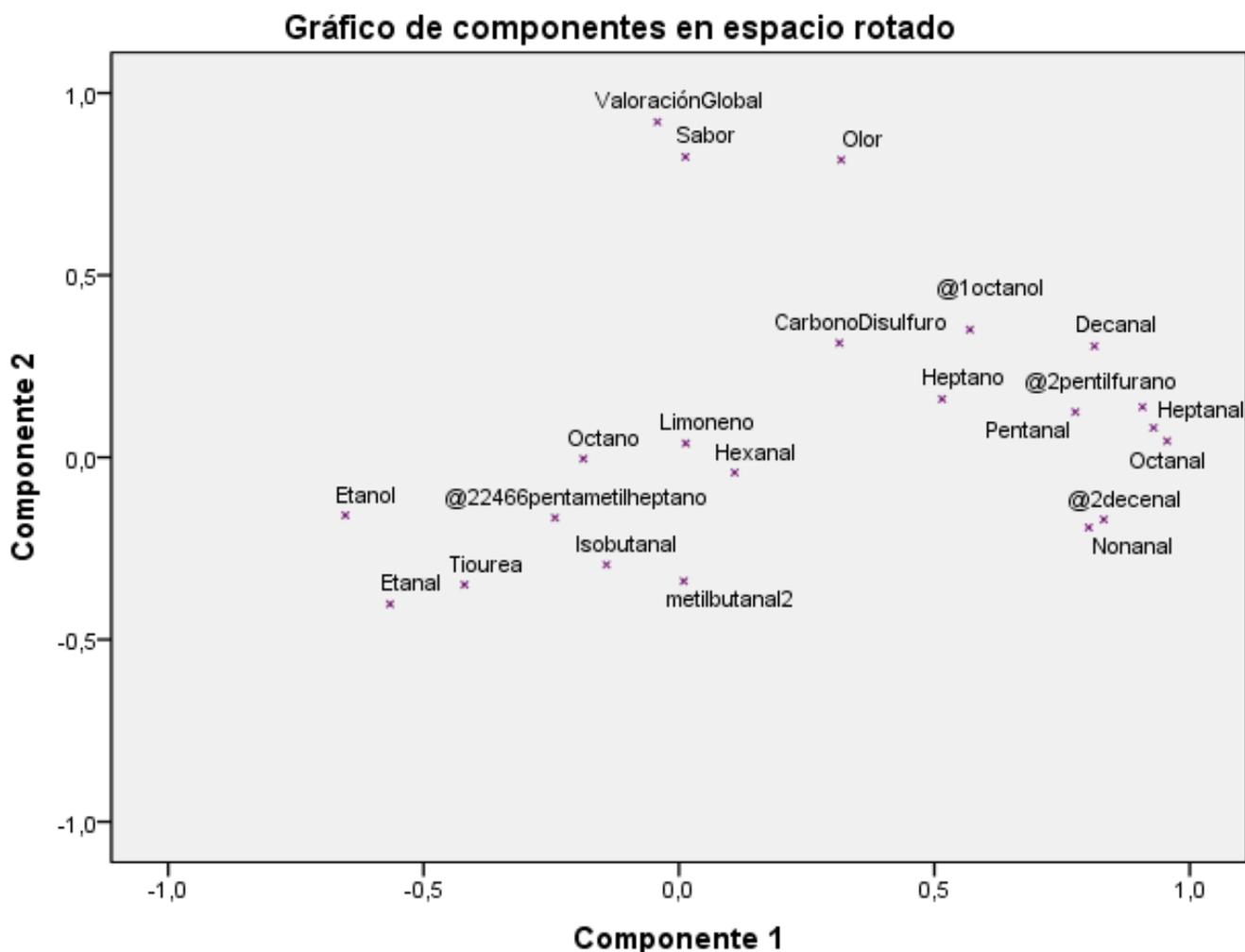
La familia de Cetonas Alifáticas no han presentado a penas significaciones, corroborando así los resultados obtenidos en la tabla de ANOVA, ya que no muestras significación con el efecto dieta.

El limoneno (terpenoide), ha presentado una correlación positiva en el sabor, y solamente está presente en corderos alimentados con chíá. Esto puede ser otra de las causas de su alta valoración global.

Se observa claramente la estrecha relación de compuestos volátiles con el olor y el sabor y la independencia de los mismos frente a la ternura y jugosidad.

Es importante poder tener una visión gráfica de los resultados obtenidos en las tablas de correlaciones. Por ello se ha realizado un gráfico de componentes principales que permita visualizar globalmente tanto los compuestos volátiles como los atributos sensoriales.

Gráfico 5.6. Gráfico de Componentes Principales en espacio rotado de compuestos volátiles y atributos sensoriales que han mostrado correlación entre ellos.



Este gráfico representa todas las variables que muestran correlación, pero sólo explica un 46 % de la variabilidad total. Por lo tanto, la fiabilidad de los resultados no es muy elevada, pero se puede deducir lo siguiente:

Los atributos sensoriales, muestran una relación positiva, es decir, un buen sabor u olor repercuten positivamente aumentando la intensidad de los descriptores citados. Además los compuestos que favorecen estos atributos son carbono disulfuro, 1-octanol, heptano, 2-pentilfurano y muchos aldehídos alifáticos, también relacionados de forma positiva. Cabe destacar que las variables se encuentran cerca de “1”, lo cual corrobora los resultados obtenidos en las tabla 8 y 9.

Se observa otro grupo de compuestos que están más alejados de los atributos y tienden a “0”. Muchos de ellos muestran una relación negativa tanto con otros compuestos volátiles como con

los atributos sensoriales. Etanal, etanol, tiourea, 2,2,4,6,6-pentametilheptano...hacen disminuir la valoración global, y la valoración del olor y del sabor. Estos compuestos se encuentran presentes en dieta control y dieta lino lo que puede ser causa de una puntuación más baja que para dieta chía en el panel de consumidores.

Concluir afirmando que para dieta chía, los compuestos que perjudican la valoración de los atributos sensoriales o no están presentes, tienen un bajo PRA, o no muestran significación. Al contrario que ocurre con dieta control y dieta lino

De esta manera se explica el resultado obtenido en el panel sensorial y la valoración para las diferentes dietas.

CONCLUSIONES

6.



6. CONCLUSIONES

Con el material y métodos empleados y a partir de los resultados obtenidos, en el presente trabajo se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. El perfil de compuestos volátiles identificados en el músculo *longissimus dorsi* de corderos de Raza Navarra, está constituido por 35 compuestos volátiles identificados de las siguientes familias: Aldehídos Alifáticos, Cetonas Alifáticas, Hidrocarburos Alifáticos, Compuestos Azufrados, Alcoholes Alifáticos y Terpenoides. Los compuestos de mayor presencia han sido: 2-propanona, etanol y hexanal.
2. La mayoría de los compuestos volátiles identificados se han formado por oxidación lipídica y reacción de Maillard.
3. La 2-propanona (Cetona Alifática) es el compuesto con mayor PRA de todos los determinados pero no ha presentado diferencias significativas entre dietas ni correlaciones con los atributos sensoriales.
4. Se han obtenido diferencias significativas en el perfil aromático para las diferentes dietas debido a la presencia o no de compuestos volátiles y las correlaciones obtenidas con los atributos sensoriales. Los compuestos más significativos para el efecto dieta fueron todos los Compuestos Azufrados, varios Aldehídos Alifáticos (etanal, isobutanal, butanal, pentanal, heptanal, octanal), Alcoholes como etanol y 1-octen-3-ol, 2-pentilfurano, limoneno y 2,2,4,6,6-pentametilheptano.
5. Las diferencias encontradas en el perfil aromático justificarían y apoyarían los resultados obtenidos en el análisis sensorial. Las muestras mejor valoradas en el análisis sensorial fueron las de los corderos alimentados con chíá. La ausencia de 2,2,4,6,6-pentametilheptano y tiourea en estas muestras podrían ser una de las causas de su mejor valoración ya que la presencia de estos compuestos está asociada a un peor olor y sabor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ~ ACREE., & ARU, H. (1997) Flavornet. Gas chromatography-olfactometry (GCO) of natural products. Cornell University. <<http://nysaes.cornell.edu7flavornet/><. Accessed 22.06.2012
- ~ ALBERTI, P., SAÑUDO, C., SANTOLARIA, P., NEGUERUELA, Y., OLLETA, J.L., MAMAQUI, E., CAMPO, M., y ALVAREZ, F.S. (1995) Calidad de la carne de terneros de raza Parda Alpina y Pirenaica cebados con pienso rico en gluten feed y mandioca. In ITEA, pp. 630-632, Zaragoza.
- ~ ALEXANDROVA, N., BANSKALIEVA, V., ANGELOV, A., IVANOV, I., LALEVA, S., y SLAVOVA, P. (1996) Meat quality characteristics and fatty acid composition of triacylglycerols in out-of season born lambs. In 42nd International Congress of Meat Science and Technology, pp. 204205, Zaragoza.
- ~ ALFONSO, J. y THOMPSON, J.M. (1996) Changes in body composition of sheep selected for high and low backfat thickness during periods of ad libitum and maintenance feeding. Anim. Sci., 63, 395-406.
- ~ AUROUSSEAU, B. (1981) Elaboration des lipides corporals et valeur des carcasses des ruminants. Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A, 45, 43-50.
- ~ AUROUSSEAU, B. (1986) Influence de l'alimentation et des facteurs d'élevage sur l'état d'engraissement et la qualité des carcasses chez les ovins. In 11èmes Journées Rech. Ovine et Caprine. INRA-ITOVIC, Paris.
- ~ BEARE-ROGERS, J. (1988) Nutritional attributes of fatty acids. J.A.O.C.S., 65, 91-95.
- ~ BEERMAN, D.H., ROBINSON, T.F., y HOGUE, D.E. (1995) Impact of composition manipulation on lean lamb production in the United States. J. Anim. Sci, 73, 2493-2502.
- ~ BELTRAN, J.A. (1988) Efecto de la temperatura sobre el desarrollo del rigor mortis y la maduración en músculo de ternasco. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza., Zaragoza. España.
- ~ BELTRAN, J.A. y BOCCARD, R. (1992) El tejido conjuntivo y su influencia sobre la calidad de la canal. In Ovis: Calidad de la Canal Ovina (II), Vol. Marzo nº19, pp. 37-48.
- ~ BELITZ, H.D., (1987). Lipids in Food Chemistry. H.D. Belitz and W. Grosch, ED. Spring Verlag co., New York
- ~ BERIAIN, M.J. y LIZASO, G. (1997). Calidad de la carne de vacuno. In Vacuno de carne: aspectos clave (ed C. Buxadé), pp. 493-510. Mundi Prensa, Madrid.
- ~ BLIGH, E.G. y DYER, W.J. (1959) A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Bioch. Physiol., 37, 911-917.
- ~ BLUMER, T.N. (1963) Relationship of marbling to the palatability of beef. J. Anim. Sci, 22, 771.

- ~ BOZZOLO, G., BOUILLIER-LOUDOT, M., QUENARDELLE, P., GRASSET, D., y MANSE, H. (1992) Influence de l'incorporation de saindoux dans l'aliment concentré sur la croissance et les qualités de carcasse chez l'agneau mâle sevré précocement. *Ann. Zootech*, 41, 205-221.
- ~ BRAGGINS, T.J. y FROST, D.A. (1997) The effect of extended chilled storage in CO₂ atmosphere on the odour and flavour of sheep-meat as assessed by sensory panel and an electronic nose. 43th International Congress of Meat Science and Technology, 1985- 1993.
- ~ BRAY, A.R., GRAAFHUIS, A.E., y CHRYSTALL, B.B. (1989) The acumulative effect of nutritional shering and preslaughter washing stresses on the quality of lamb meat. *Meat Sci.*, 25, 59-67.
- ~ BRAZAL, T. y BOCCARD, R. (1977) Efectos de dos tratamientos antemortem sobre la calidad de la canal y de la carne de cordero. *An. INIA. Ser.: Prod. Anim.*, 8, 97-125.
- ~ BEWER MS, VEGA ID. 1995. Detecctable odor thresholds of selected lipid oxidation compounds in a meat model system. *J. Food Sci* 60:592-595
- ~ BULL, R.P., MCKEITH, F.K., NOVAKOFSKI, J.E., y DRACKLEY, J.K. (1994) Evaluation of color, palatability and nutritional characteristics of different types of veal. *Anim. Sci.*, supl.1, 371.
- ~ BUSBOOM, J.R., MILLER, G.J., FIELD, R.A., CROUSE, J.D., RILEY, M.L., NELMS, G.E., y FERRELL, C.L. (1981) Characteristics of fat from heavy ram and wether lambs. *J. Anim. Sci*, 52, 83-92.
- ~ CABRERO, M. (1984) Crecimiento y características de la canal de corderos merinos. Influencia del peso de sacrificio del sexo y de la incorporación de pulpa de aceituna a la dieta. Tesis Doctoral, I.N.I.A., Cordoba. España.
- ~ CABRERO, M. (1991) Efecto de la edad y el sexo sobre algunos componentes de la canal en corderos de Raza Gallega. In ITEA, Zaragoza.
- ~ CAMPO, M.M., SAÑUDO, C., SIERRA, I., OLLETA, J.L., HORCADA, A., y DOMEQUE, O. (1995) Efecto del destete sobre la calidad de la grasa en el ternasco de Aragón. In XX Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia., Madrid.
- ~ CANNON, D.J. y DAVISON, P.F. (1978) Crosslinking in the type III collagen of fetal tissue. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 85, 1373.
- ~ CARBALLO, B. y LÓPEZ de TORRE, G. 1991. Manual de bioquímica y tecnología de la carne. Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Extremadura.
- ~ CAÑEQUE, V., LAUZURICA, S., PEREZ, C., HUIDOBRO, F., VELASCO, S., GAYAN, J., DIAZ,
- ~ M.T., SANCHA, J.L., y CANTERO, M.A. (1998) Efecto del sistema de destete en la calidad de la canal de corderos de raza Talaverana sacrificados a dos pesos. I. Parámetros productivos al sacrificio. In XXIII Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia., pp. 113-116, Vitoria-Gasteiz.

- ~ CAÑEQUE, V., LAUZURICA, S., VELASCO, S., RUIZ DE HUIDOBRO, F., PEREZ, C., DIAZ, M.T., MANZANARES, C., y ONEGA, E. (1999) Engorde de corderos de raza Talaverana en pastoreo ó aprisco con distintos sistemas de alimentación. I. Efecto sobre la calidad de la canal. In XXIV Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, pp. 433-437, Soria.
- ~ CAÑEQUE, V., RUIZ DE HUIDOBRO, F., DOTZ, V., y HERNANDEZ, J.A. (1989). Producción de carne de cordero. In Colección Técnica. (ed MAPA), pp. 520.
- ~ CAÑEQUE, V., RUIZ DE HUIDOBRO, F., HERNANDEZ, J.A., y DOLZ, J.F. (1990). Comparison between four fattening systems for lambs and their effects on carcasse quality. In 41st Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Toulouse (Francia).
- ~ CAPORASO, E., SINK, J.D., DIMICK, P.S., MUSSINAN, C.J., y SAUDERSON, A. (1977) Volatile flavor constituents of ovine adipose tissue. J. Agric. Food Chem., 25, 1230- 1233.
- ~ CIRIA, J. y ASENJO, B. (1997). Bases de la producción de lechazos. In Ovino de leche: Aspectos claves (ed Mundi-Prensa), pp. 283-297.
- ~ CLARKE, E.A. y McMEEKAN, C.P. (1952) New Zealand lamb and mutton. N. Z. J. Sci. Technol. Agr, 33, 1-15.
- ~ COBOS, A., DE LA HOZ, L., CAMBERO, M.I., y ORDOÑEZ, J.A. (1994) Revisión: Influencia de la dieta animal en los ácidos grasos de los lípidos de la carne. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos., 34, 35-51.
- ~ COLOMER-ROCHER, F. (1972) Valor significativo de algunas medidas de corderos procedentes del cruce Castellano X Landschaf. In Publicación técnica , U.S. Feed Grains Council., Madrid.
- ~ CRAMER, D.A. 1983. Chemical compounds implicated in lamb flavor. Food Technol. 35(5), 264-268.
- ~ CROSS, H.R., DURLAND, P.R., SEIDEMAN, S.C. 1986. Sensory Qualities of Meat. En: Muscle as Food. Food Science and Technology. Ed. P.J. Bechtel. Series ed. B.S. Schweigert. Academic Press, Inc. New York.
- ~ CROUSE, J.D. 1983. The effects of breed, sex, slaughter, weight and age on lamb flavor Food technol. 37(5), 264-269.
- ~ DIESTRE, A. (1985) Estudio de los factores biológicos determinantes del desarrollo de las canales de cordero y de sus características comerciales. Tesis Doctoral. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- ~ DOMENECH, V., APARICIO, F., TOVAR, J., y PEÑA, F. (1986) Diámetros que determinan la conformación en canales de cordero de raza Merina española. In 2ª Conferencia Mundial del Merino, pp. 73-83, Madrid.

- ~ DRANSFIELD, E. (1992) Optimisation of tenderisation, ageing and tenderness. In 38th International Congress of Meat Science and Technology, Vol. 1, pp. 71, Clermont- Ferrand. France.
- ~ ENSER, M., HALLETT, K., HEWELT, B., FURSEY, G.A., y WOOD, J.D. (1996) Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Sci.*, 42, 443- 456.
- ~ ENSER, M., HALLETT, K., HEWELT, B., FURSEY, G.A., WOOD, J.D., y HARRINGTON, G. (1998) Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Sci.*, 43, 329-341.
- ~ GARCÍA, P.T. y CASAL, J.J. (1992) 38th International Congress Meat Science and Technology, Vol. 2, pp. 53.
- ~ GARCIA, P.T., PENSEL, N.A., y MARGARIA, C.A. (1995) Lipids from lamb meat. In 41st International Congress Meat Science and Technology., pp. 56, San Antonio, Texas (USA).
- ~ FORSS DA. 1972. Odour and flavor compounds from lipids. *Prog Chem Fats Oth Lipid* 13:177-258
- ~ GORRAIZ C. 1999. Calidad Sensorial de la carne de ternera de las razas Pirenaica y Frisona (Dr Phil Thesis). Pamplona, Spain: Public Univ of Navarra. 155 p.
- ~ GORRAIZ C., BERIAIN M.J., CHASCO J., and INSAUSTI K. (2002) Effect of aging tiem on volatile compounds, aroma and flavor of cooked beef from Pirenaica, and Friesian breed bulls and heifers. *Journal of food Science*, 67, 916-922.
- ~ INSAUSTI, K., BERIAIN, M.J., GORRAIZ, C., & PURROY,A (2002). Volatile compounds of raw beef from 5 locals Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Journal of food Science*, 67, 1580-1589.
- ~ HAWRYSH, Z.J., MURRAY, D.M., y BOWLAND, J.P. (1974) Effects of exercise on palability and cooking characteristics of pork. *Can. J. Anim. Sci.*, 54, 191.
- ~ HECKER, A.L., CRAMER, D.A., BEEDE, D.K., y HAMILTON, R.W. (1975) *J. Food Sci.*, 140-143.
- ~ HEDRICK, H.B., PATERSON, S.A., MATCHES, A.G., THOMAS, J.D., MARROW, R.E., STRINGER, W.C., y LIPSEY, R.J. (1983) Carcass and palability characteristics of beef produced on pastur, corn silage and corn gain. *J. Anim. Sci*, 57, 4-10.
- ~ HEGARTY, R.S., NEUTZE, S.A., y ODDY, U.H. (1999) Effect of protein and energy supply on the growth and carcass composition of lambs from differing nutritional histories. *J. Agric. Sci.*, 132, 361-375.
- ~ HORNSTEIN, I. y CROWE, P.F. 1960. Flavor studies on beef and pork. *J. Agric. Food Chem.* 8, 494-505.
- ~ HORNSTEIN, I. y CROWE, P.F. 1963. Meat flavor: lamb. *J. Agric. Food Chem.* 11, 147-158

- ~ HORNSTEIN, I., CROWE, P.F., HEIMBERG, M.J. 1961. Fatty acid composition of meat tissuelipids. *J. Food Sci.* 26, 581-587.
- ~ HORNSTEIN, I. y WASSERMAN, A. 1987. Part 2-Chemistry of meat flavor. En: *The Science of Meat and Meat Products*. Eds. J.F. Price y B.S. Schweigert. Food & Nutrition Press. Inc., Westport, Connecticut.
- ~ HORCADA, A. (1996) Calidad de la carne de los corderos de las razas Lacha y Rasa Aragonesa. Tesis Doctoral, Universidad Pública de Navarra, Pamplona.
- ~ HORCADA, A., BERIAIN, M.J., PURROY, A., LIZASO, G., y CHASCO, J. (1998) Effect of sex on meat quality of Spanish lamb breeds (Lacha and Rasa Aragonesa). *Anim. Sci.*, 67, 541-547.
- ~ KOOHMARAIE, M. (1992) Muscle proteinases and meat aging. In 38th International Congress of Meat Science and Technology, Vol. 1, pp. 61, Clermont-Ferrand. France. Proc.
- ~ KOOHMARAIE, M., BABIKER, A.S., SCHOEDER, A.L., MERKEL, R.A., y DUTSON, R.T. (1988) Role of Ca²⁺-dependent proteases and lysosomal enzymes in post-mortem changes in bovine skeletal muscle. *J. Food Sci.*, 53, 1253.
- ~ KOOHMARAIE, M., SHACKELFORD, S.D., y WHEELER, T.L. (1996) Effects of a B-adrenergic agonist (L-644, 969) and male sex condition on muscle growth and meat quality of callipyge lambs. *J. Anim. Sci.*, 74, 70-79.
- ~ KOPP, J. (1971) Evolution qualitative du collagène musculaire de bovin en fonction de l'âge des animaux. Conséquences sur la tendreté de la viande. *Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A.*, 5, 47-55.
- ~ KOPP, J. (1976) Tendresse de la viande bovine: principaux facteurs de variation liés à l'âge des animaux. *Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A.*, 24, 37-46.
- ~ KRAMMER, A. (1994) Use of colour measurements in quality control of food. *Food Technol.*, 48, 63-71.
- ~ KUROSU, H. (1979) Biochemical studies on collagen and connection from human skeletal muscle. *Seikeigeka Gakkai Zasshi*, 53, 1641.
- ~ LARICK DK, TURNER BE. 1990. Headspace volatiles and sensory characteristics of ground beef from forage- and grain-fed heifers. *J Food Sci* 54:659-654
- ~ LAVILLE, E., MARTIN, V., y BASTIEN, O. (1996) Prediction of composition traits of young Charolais Bull Carcasses using a morphometric method. *Meat Sci.*, 44, 93-104.
- ~ LAWRIE, R.A. (1966). The eating quality of meat. In *Meat Sci.* Pergamon Press, London.
- ~ LAWRIE, R.A. (1998) Ciencia de la carne, Zaragoza. España.

- ~ LEHNINGER, A. (1981). Lípidos, lipoproteínas y membranas. In Bioquímica, pp. 285-314. Omega S.A., Barcelona.
- ~ MANLEY, C.H. (1988). Progress in the science of thermal generation of aromas: a review. In Thermal generation of aromas (pp.12-22). ADS Symposium Series 409. Washington DCC: American Chemical Society.
- ~ McCRAE, S.E., SECCOMBE, C.G., MARSH, B.B., y CARSE, W.A. (1971) Studies in meat tenderness. IX. The tenderness of various lamb muscles in relation to their skeletal restraint and delay before freezing. J. Food Sci., 36, 566.
- ~ McDONALD, I.W. y SCOTT, T.W. (1977) Foods of ruminant origin with elevated content of polyunsaturated fatty acids. World Rev. Nutr. Diet, 26, 144-207.
- ~ McGEEHIN, B., SHERIDAN, J.J., y BUTTER, F. (2001) Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter. Meat Sci., 58, 79-84.
- ~ McLEOD, G. y SEYYEDAIN-ARDEBILI, M. (1981) Natural and stimulated meat flavors (with particular reference to beef). Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 14, 309-437.
- ~ MILLER, R.K. 1994. Quality Characteristics. En: Muscle Foods. Meat Poultry and Seafood Technology. Eds. D.M. Kinsman, A.W. Kotula, B.C. Breidenstein. Chapman & Hall.
- ~ MOODY, W.G. 1983. Beef flavor. A Review. Food Technol. 5, 227-246.
- ~ NEWTON, K.G. y GILL, C.O. 1980. Control of spoilage in vacuum packaged dark, firm, dry (DFD) meat. J. Food Technol. 15, 227-234.
- ~ NEWTON, K.G. y GILL, C.O. 1981. The microbiology of DFD fresh meats. A review. MeatSci. 5, 223-236.
- ~ MILLER, G.J., VARNELL, T.R., y RICE, R.W. (1967) Fatty acid composition of certain ovine tissues as affected by maintenance level rations of roughage and concentrate. J. Anim. Sci, 50, 249.
- ~ MILLER, L.F., JUDGE, M.D., DIEKMAN, M.A., R.E., H., y ARBELE, E.D. (1989) Relationships among intramuscular collagen, serum hydroxyproline and serum testosterone in growing rams and wethers. J. Anim. Sci, 67, 698.
- ~ MILLER, L.F., JUDGE, M.D., y SCHANBAKHER, B.D. (1990b) Intramuscular collagen and serum hydroxyproline as related to implanted testosterone, dihydrotestosterone and estradiol - 17B in growing wethers. J. Anim. Sci, 68, 1044.
- ~ OFFER, G. y TRINICK, J. (1983) On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. Meat Sci., 8, 245.
- ~ OLIVER, W.M., CARPENTER, Z.L., KING, G.T., y SHELTON, M. (1968) Predicting cutability of lamb carcasses from carcass weights and measures. J. Anim. Sci, 27, 1254.

- ~ OLLETA, J.L., SAÑUDO, C., y SIERRA, I. (1992) Producción de carne en la agrupación ovina Churra Tensina: Calidad de la canal y de la carne en los tipos de ternasco y cordero de cebo. Arch. Zootec., 41, 197-203.
- ~ OSORIO, J., SIERRA, I., SAÑUDO, C., MARÍA, G., y OSORIO, M.T. (1993) Estudio comparativo de la calidad de la canal en el tipo "Ternasco" según procedencia. In XVIII Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, pp. 629- 638, Albacete.
- ~ PATTERSON, R.L.S. 1968a. 5 α androst-16 en-3 one: Compound responsible for taint in boar fat. J. Sci. Food Agric. 19, 31-38.
- ~ PATTERSON, R.L.S. 1968b. Identification of 3 α hydroxy- 5 α androst-16 ene as the musk odour component of boar submaxillary salivary gland and its relationship to the sex odour taint in pork meat. J. Sci. Food Agric. 19, 434-441.
- ~ PATTERSON, R.L.S. 1975. The flavour of meat. En: Meat. Eds. D.J.A. COLE y R.A. LAWRE. Butterworths, London.
- ~ PETERSON RJ, CHANG SS 1982. Identification of volatile flavor compound of fresh, frozen beef, stew and comparison of these with those of canned beef stew. J Food Science, 47:1444-1448
- ~ PRANDL, O., FISCHER, A., SSCHMITHOFER, T., Sinell, H.J. 1994. Tecnología e Higiene de la Carne. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ~ RAMARATHNAM, N.; RUBIN, L.J.; DIOSADY, L.L., 1993. Studies on meat flavour. 4. Fractionation, characterization, and cuantitation of volatiles from uncured and cured beef and chicken. J. Agric. Food Chem, 41: 939-945.
- ~ RHEE, K.S. (1992). Fatty acids in meats and meats products. In Fatty acids in food and their health implications (ed C.H. Chow). Marcel Dekker Inc., Nueva York.
- ~ RHEE, K.S., DAVIDSON, T.L., CROSS, H.R., y ZIPRIN, Y.A. (1990a) Characteristics of por products from swine fed a high monounsaturated fat diet: part 1. Whole muscle products. Meat Sci., 27, 329-341.
- ~ RHEE, K.S., ZIPRIN, Y.A., y DAVIDSON, T.L. (1990b) Characteristics of pork products from swine fed a high monounsaturated fat diet: part 2. Uncured processed products. Meat
- ~ SAÑUDO, C. (1980) Calidad de la canal y de la carne en el ternasco aragonés. Tesis doctoral, Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza., Zaragoza.
- ~ SAÑUDO, C. (1991). La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina. Factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza.
- ~ SAÑUDO, C., ALFONSO, M., SANCHEZ, A., DELFA, R., y TEIXEIRA, A. (2000) Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. Meat Sci., 56, 89-94.

- ~ SAÑUDO, C. y ALTARRIBA, J. (1982) Nuevos planteamientos para la valoración de canales ovinas (ternasco Aragonés). III. Predicción de la composición tisular de la canal. An. Fac. Vet. Zaragoza, 16-17, 273-283.
- ~ SAÑUDO, C., CAMPO, M.M., SIERRA, I., MARIA, G.A., OLLETA, J.L., y SANTOLARIA, P. (1997) Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs. Meat Sci., 46, 357- 365.
- ~ SAÑUDO, C., DELFA, R., GONZALEZ, C., ALCALDE, M.J., CASAS, M., SANTOLARIA, P., y VIGIL, E. (1992a) Calidad de la carne de ternasco. In ITEA, Vol. Vol. 88A, pp. 221-227, Zaragoza.
- ~ SAÑUDO, C., GONZALEZ, C., y DELFA, R. (1992c) El peso de la canal. Ovis, 19, 9-19.
- ~ SAÑUDO, C., SANCHEZ, A., y ALFONSO, M. (1998a) Small Ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. In 44th International congress of Meat Science and Technology., pp. 20-47, Barcelona, Spain.
- ~ SAÑUDO, C., SANTOLARIA, P., MARIA, G., OSORIO, M., y SIERRA, I. (1996) Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive productions systems. Meat Sci., 42, 195-202.
- ~ SAÑUDO, C., SANTOLARIA, P., SIERRA, I., ALCALDE, M.J., y TOURAILLE, C. (1992b) Sensory meat characteristics from light lamb carcasses. 38th International Congress of Meat Science and Technology, 277-280.
- ~ SAÑUDO, C. y SIERRA, I. (1982) Estudio de la calidad de la canal y de la carne en animales cruzados Romanov * Rasa aragonesa I. Descripción y comparación entre los tipos de ternasco y pascual. An. Fac. Vet. Zaragoza, 16-17, 285-295.
- ~ SAÑUDO, C. y SIERRA, I. (1991) Calidad de la canal y de la carne en el cerdo ibérico en producción intensiva. ANAPORC, diciembre, 107, 27.
- ~ SAÑUDO, C. y SIERRA, I. (1993) Calidad de la canal y de la carne en la especie ovina.
- ~ SAÑUDO, C., SIERRA, I., ALCALDE, M.J., ROTA, A., y OSORIO, J.C. (1993a) Calidad de la canal y de la carne en corderos ligeros y semipesados de las razas Aragonesa, Lacaune y Merino Alemán. In ITEA, Vol. Vol. 89A, pp. 203-214, Zaragoza.
- ~ SAÑUDO, C., SIERRA, I., LOPEZ, M., y FORCADA, F. (1986) La qualité de la viande ovine. étude des différents facteurs qui la conditionnent. In Commission des C.E. Rapport EUR 11479, pp. 67-81.
- ~ SAÑUDO, C., SIERRA, I., OLLETA, J.L., MARTIN, L., CAMPO, M.M., SANTOLARIA, P., WOOD, J.D., y NUTE, G.R. (1998b) Influence of weaning on carcass quality, fatty acid composition and meat quality in intensive lamb production systems. Anim. Sci., 66, 175- 187.
- ~ SAÑUDO, C., SIERRA, I., OSORIO, M.T., ALCALDE, M.J., SANTOLARIA, P., y ALBERTI, P. (1993b). Variation of meat quality in light lamb depending on weight increase of the carcass (7,4 15,4 Kg), Alberta. Canada.

- ~ SCHIEBERLE, P., & GROSCH, W (1987). Evaluation of the flavor of wheat and rye bread crusts by aroma extract dilution analysis. 185,111-113
- ~ SCHÖNFELDT, H.C., NAUDE, R.T., BOK, W., VAN HEERDEN, S.M., SMIT, R., y BOSHOFF, E. (1993) Flavour and tenderness related quality characteristics of goat and sheep meat. *Meat Sci.*, 34, 363.
- ~ SEIDEMAN, S.C., CROSS, H.R., y CROUSE, J.D. (1989) Variation in the sensory properties of beef as affected by sex, condition, muscle and postmortem aging. *J. Food Qual.*, 12, 39-58.
- ~ SEIDEMAN, S.C., CROSS, H.R., SMITH, C.G., y DURLAND, P.R. (1984) Factors associated with fresh meat color: A review. *J. Food Qual.*, 6, 211-237.
- ~ SPECHT, K., & BALTES, W. (1994). Identification of volatile flavour compounds with high aroma values from shallow-fried beef. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42 2246-2253.
- ~ SEIDEMAN, S.C. y CROUSE, J.D. (1986) The effects of sex condition, genotype and diet on bovine muscle fibre characteristics. *Meat Sci.*, 17, 55-72.
- ~ SUTHERLAND, M.M., AMES, J.M. 1996. Free fatty acids composition of the adipose tissue of intact and castrated lambs slaughtered at 12 and 30 weeks of age. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 44, pp.3113-3116.
- ~ SUZUKY, J., BAILEY, M.E. 1985. Direct sampling capillary GLC analysis of flavor volatiles from ovine fat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* Vol. 33(3), pp. 343-347.
- ~ THOMPSON, R.H. 1972. Identification of some C19 Δ 16 steroids contributing to sex odour in pork. *J. Ag. Food Chem.* 20, 185-191.
- ~ TOURAILLE, C. y GIRARD, J.P. 1985. Influence du sexe et de l'âge à l'abattage sur les qualities organoleptiques des viandes de bovins Limousins abattus entre 16 et 33 mois. *Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A.* 48, 83-89.
- ~ TUDELA, R. 2006. Perfil aromático de la carne de cordero de Raza Navarra
- ~ VASTA, V., PRIOLO, A. 2006. Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. *Meat Science.* Vol. 73, pp. 218-228.
- ~ WASSERMAN, A.E. y SPINELLI, A.M. 1972. Effect of some water-soluble components on N aroma of heated adipose tissue. *J. Agric. Food Chem.* 20, 171-178.
- ~ WASSERMAN, A.E. y TALLEY, F. 1968. Organoleptic identification of roasted beef, veal, lamb and pork as affected by fat. *J. Food Sci.* 33, 219-224.
- ~ WAHLE, K.W.J., PATTERSON, S.M., y GARTON, G.A. (1978) Biosynthesis of branched-chain fatty acids by preparations from bovine adipose tissue. *Biochem. Soc. Trans.*, 6, 1157-1158.

- ~ WARRIS, P.D., BROWN, S.N., y ADAMS, S.J.M. (1990a) Variation in haem pigment concentration and color in meat from British pigs. *Meat Sci.*, 28, 321-329.
- ~ WARRIS, P.D., KESTIN, S.C., YOUNG, C.S., BEVIS, E.A., y BROWN, S.N. (1990b) Effect of preslaughter transport on carcass yield and indices of meat quality in sheep. *J. Sci. Food Agric.*, 51, 517-523.
- ~ WASSERMAN, A.E. y SPINELLI, A.M. (1972). Chemistry of Meat Flavor. In *Flavor chemistry of Lipid foods.* (eds M. D. y S. T.H.), pp. 166-189. American of Oil Chemist Society., Champign, Illinois. pp:.
- ~ WATANABE K, SATO Y. 1971. Gas chromatography and mass spectral analysis of beef fats. *Agric Bio Chem* 35:756
- ~ WONG, E., NISON, L.N., JONHSON, C.B. 1975. Volatile medium chain fatty acids and mutton flavor. *J Agric. Food Chem.* 23, 495-501.
- ~ YOUNG, O.A., REID, D.H., SCALES, G.H. 1993. Effect of breed and ultimate pH on the odour and flavour of sheepmeat. *NZ J. Agric. Res.* Vol. 36, pp. 363-370.
- ~ YOUNG, O.A., BERDAGUÉ, J.L., VIALLO, C., ROUSSET- AKRIM, S., THERIEZ, M. 1997. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. *Meat Science.* Vol. 45, pp. 169-181.
- ~ YOUNG, O.A., LANE, G.A., PRIOLO, A., Fraser, K. 2003. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, Lucerne or maize. *J. Sci. Food Agric.* Vol. 83, pp. 93-104.
- ~ YOUNG, O.A., BRAGGINS, T.J. 2004. Sheepmeat odour and flavour. En: *Flavour of Meat, Meat Products and Seafoods*, 2ed. Ed: Blackie Academic & Professional. London. Pp. 102-123.