

Universidad Publica de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**EFFECTO DE LA CONGELACIÓN, LA ALIMENTACIÓN
Y EL ESPESOR DE GRASA DORSAL EN EL PERFIL AROMÁTICO DE LA CARNE DE
TERNEROS DE LA RAZA PIRENAICA**

presentado por

VERÓNICA LOZA SAN MARTÍN

aurkeztua

**INGENIERO AGRONOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA**

Julio, 2012

ÍNDICE



ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	4
RESUMEN	8
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	0
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	13
2.1. LA RAZA PIRENAICA	13
2.1.1. Características de la raza pirenaica	13
2.1.1.1. Sistemas de explotación.....	14
2.1.1.2. Caracteres productivos.....	14
2.1.1.3. Caracteres reproductivos.....	14
2.2. CALIDAD DE LA CARNE DE VACUNO.....	15
2.2.1. Parametros que determinan la calidad de carne de vacuno.....	17
2.2.1.1. Composición química.....	17
2.2.1.2. pH.....	21
2.2.1.3. Capacidad de retención de agua (CRA).....	24
2.2.1.4. Textura.....	27
2.2.1.5. Contenido en grasa del músculo y perfil lipídico	33
2.2.1.6. Calidad sensorial de la carne de vacuno	35
2.2.1.6.1. Jugosidad.....	35
2.2.1.6.2. Flavor.....	36
2.2.1.6.3. Color de la carne.....	38
2.2.1.7. Procesos tecnológicos que influyen en la calidad de la carne.....	39
2.2.1.7.1. Enfriamiento.....	39
2.2.1.7.2. Maduración.....	40
2.2.1.7.3. Congelación.....	41
2.2.1.7.4. Método de cocinado.....	42
2.3. PERFIL AROMÁTICO DE LA CARNE DE VACUNO.....	43
2.3.1. Compuestos precursores del perfil aromático de la carne de vacuno.....	43
2.3.2. Naturaleza química de los principales compuestos responsables del perfil aromático.....	45
2.3.3. Compuestos volátiles responsables del perfil aromático de la carne de vacuno.....	48
2.3.4. Métodos de análisis de extracción e identificación de compuestos volátiles en carne.....	51

3.	<u>OBJETIVOS</u>	56
4.	<u>MATERIAL Y MÉTODOS</u>	58
4.1.	MATERIAL	58
4.1.1.	Material animal y alimentación.....	58
4.1.2.	Sacrificio.....	60
4.1.3.	Envasado y congelación.....	61
4.1.4.	Tratamiento y preparación de las muestras.....	61
4.1.5.	Consideraciones sobre las muestras a analizar y su identificación.....	61
4.1.2.	Obtención del perfil de compuestos volátiles.....	62
4.1.2.1.	Extracción de los compuestos volátiles.....	62
4.1.2.2.	Separación y cuantificación de los compuestos volátiles.....	62
4.1.2.3.	Identificación de los compuestos volátiles.....	62
4.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	63
4.2.1.	Análisis de la varianza.....	63
4.2.1.1.	Modelo para el tratamiento de los datos para el análisis instrumental.....	63
4.2.2.	Análisis de correlación.....	64
5.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	66
5.1.	PERFIL DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN LA CARNE DE VACUNO CON DIFERENTES DIETAS Y A DIFERENTES TIEMPOS EN CEBO O EDG	66
5.1.1.	Caracterización de los compuestos volátiles detectados según el efecto EDG.....	72
5.1.2.	Caracterización de los compuestos volátiles detectados para el efecto dieta según la EDG.....	78
5.2.	EFFECTO DE LA DIETA Y DEL EDG EN EL PERFIL DE COMPUESTOS VOLÁTILES	85
5.2.1.	Análisis de correlación entre las variables de los compuestos volátiles...89	
5.3.	EFFECTO DE LA CONGELACIÓN EN LA CARNE DE VACUNO	93
5.3.1.	Efecto de la dieta y la congelación en los compuestos volátiles de los terneros sacrificados con 3 mm EDG.....	97
5.3.2.	Análisis de correlación entre las variables de los compuestos volátiles..100	
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	102
7.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	104

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS



ÍNDICE TABLAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 1. Compuestos volátiles que determinan el perfil aromático de la carne de vacuno.....48

Tabla 2. Relación de compuestos volátiles con su olor característico.....50

MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 1. Composición en ácidos grasos de las semillas de lino.....58

Tabla 2. Composición de las dietas.....59

Tabla 3. Composición en ácidos grasos de las dietas utilizadas.....59

Tabla 4. Pesos y rangos de crecimiento de los animales usados en el experimento.....60

Tabla 5. Resultados de la valoración.....60

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica y su frecuencia de aparición.....67

Tabla 2. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para 3 mm de EDG.....70

Tabla 3. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para 4 mm de EDG.....71

Tabla 4 y 5. Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica según el EDG.....72

Tabla 6 y 7. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica para 3 y 4 mm de EDG.....75

Tabla 8, 9 y 10. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 3 mm de EDG..78

Tabla 11, 12 y 13. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 4 mm de EDG..81

Tabla 14. Niveles de significación estadísticos de los factores alimentación, EDG y de la interacción alimentación x EDG en los compuestos volátiles detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica.....	85
Tabla 15. Efecto de la interacción de la alimentación x EDG en los compuestos volátiles detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica.....	86
Tabla 16. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica.....	90
Tabla 17. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica en 3 mm de EDG.....	92
Tabla 18. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica en 4 mm de EDG.....	92
Tabla 19. Compuestos volátiles que han sido detectados en el espacio de cabeza dinámico antes y después de la congelación, en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica.....	94
Tabla 20. Compuestos volátiles que han sido detectados en el espacio de cabeza dinámico antes y después de la congelación, en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica y la media de sus áreas (Media x 10 ⁴).....	95
Tabla 21. Niveles de significación estadística de los factores alimentación, congelación y de la interacción alimentación x congelación en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica.....	97
Tabla 22. Efecto de la interacción de alimentación x congelación en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica.....	99
Tabla 23. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en muestras de carne del del músculo <i>longissimus dorsi</i> de terneros de Raza Pirenaica en 3 mm de EDG.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Figura 1.** Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica según para 3 mm de EDG.....73
- Figura 2.** Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica según para 4 mm de EDG.....74
- Figuras 3 y 4.** Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica para 3 y 4 mm de EDG.....75
- Figuras 5, 6 y 7.** Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 3 mm de EDG..79
- Figuras 8, 9 y 10.** Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio dinámico en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 4 mm de EDG..82
- Figura 11.** Compuestos volátiles que han sido detectados en el espacio de cabeza dinámico antes de la congelación, en muestras de carne del del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica antes y después de la congelación.....96

RESUMEN



RESUMEN

La finalidad de este Trabajo Fin de Carrera ha sido caracterizar el perfil de compuestos volátiles de la carne de terneros de Raza Pirenaica en función de la alimentación, el espesor de grasa dorsal (tiempo en cebo final o edad de sacrificio) y la congelación de la carne en el perfil de compuestos volátiles.

Para ello se empleó el músculo *longissimus dorsi* de la altura de la 7ª vértebra torácica de 22 terneros de Raza Pirenaica sometidos a tres diferentes tipos de alimentación: testigo (6), lino (8) y lino + Vit E (8). Además los 22 terneros se clasificaron en dos lotes, 11 de ellos fueron sacrificados con un espesor de grasa de 3 mm y los otros 11 con un espesor de grasa de 4 mm, y con 289 y 350 días de edad al sacrificio respectivamente.

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. De cada muestra se realizaron dos repeticiones.

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

Se han identificado un total de 24 compuestos volátiles, de los cuales 14 han sido detectados en la mayoría de las muestras analizadas, correspondientes a las siguientes familias: Hidrocarburos Alifáticos, Aldeídos Alifáticos, Cetonas Alifáticas, Compuestos Azufrados, Alcoholes Alifáticos, y Terpenoides. Los compuestos volátiles que mayor contenido mostraron fueron: 2-propanona, 2-butanona, 2-tiapropano (dimetilsulfuro), etanal y etanol.

Entre los resultados obtenidos cabe destacar que si se dieron diferencias en el perfil de los compuestos volátiles debidas a la alimentación y al tiempo en cebo (Espesor de Grasa Dorsal o EDG). Pero las mayores diferencias se detectaron debido al efecto tiempo en cebo o EDG, ya que el perfil de compuestos volátiles presenta un mayor número y variabilidad de compuestos para un EDG de 4 mm que para un EDG de 3 mm. Únicamente en los terneros de 4 mm de EDG se detectó la presencia de 2,2,4,6,6-pentametilheptano y el octano (Hidrocarburos Alifáticos), 2,3-butanodiona (Cetonas Alifáticas), y 2-pentilfurano (Furano) En los terneros de 3 mm de EDG, se detectó, el 2- butanol, perteneciente a la familia de los Alcoholes Alifáticos.

La existencia de interacción entre la alimentación y la edad de sacrificio, para el etanal y la 2-butanona mostró un menor contenido de etanal y un mayor contenido de 2-butanona para la carne de los terneros de 4 mm de EDG, que podría relacionarse con una mejor perfil aromático de la carne de los terneros sacrificados con mayor edad, y sometida a un largo periodo de tiempo de conservación en congelación.

En cuanto al efecto de la congelación, se han observado diferencias importantes en el perfil de compuestos volátiles antes y después de la congelación. Cabe destacar la aparición del hexanal y el 2-tiapropano (DMS), indicadores de que la carne no es fresca y responsables de dar malos olores a la misma; la disminución de PRA de la 2-propanona y de la 2-butanona el aumento del PRA de etanol y de carbono disulfuro tras la congelación.

1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los hábitos de consumo de carne de vacuno de la sociedad moderna han evolucionado, traduciéndose en una menor demanda. Por otra parte la denominada “crisis de las vacas locas” ha provocado un notable descenso del consumo de estas carnes, por desconfianza del consumidor que exige mayores garantías a la hora de comprar. A partir de los años 80 fue cuando se detectó un mayor descenso del consumo de carne de vacuno como consecuencia fundamentalmente de los nuevos hábitos de consumo, el envejecimiento de la población que demanda alimentos más ligeros y con menos grasa.

Las Denominaciones de calidad han surgido como un mecanismo de defensa y para garantizar la calidad del producto, mediante controles estrictos y sistemas de etiquetado.

En este contexto, Navarra cuenta con los medios necesarios para satisfacer la demanda del consumidor de carne de vacuno al disponer de una producción propia que ha realizado un esfuerzo de modernización y adecuación en sus instalaciones ganaderas.

Dentro del entorno de las Marcas de Calidad, recientemente, y por Orden Foral de 19 de Junio de 2000 se ha reconocido en Navarra como Indicación Geográfica Protegida, la marca de Calidad “Ternera de Navarra-Nafarroako Aratxea”, que es el más alto nivel de reconocimiento Europeo dentro de las Denominaciones de Productos de Calidad.

Los objetivos prioritarios de la IGP son:

- Identificar, diferenciar y prestigiar el producto
- Garantizar la Calidad al Consumidor
- Contribuir a la Organización y Estructuración del sector,
- Homogeneizar el producto a nivel de venta

Para garantizar la calidad de la carne Ternera de Navarra se exige a las ganaderías inscritas una serie de requisitos, entre ellos que las razas sean: Pirenaica, Parda Alpina, Charolais y sus cruces.

Hoy en día la carne de ternera 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 se centran en buscar una mayor producción de carne, aumentando la prolificidad.

Si bien la introducción de la IGP de calidad va a contribuir seguramente a una mejor y mayor comercialización de la carne de vacuno, 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 demanda de productos de alta calidad nutricional. En este sentido, se están desarrollando todo tipo de productos. Por lo que se refiere a la carne de vacuno, se están buscando canales con menor estado de engrasamiento, engrasamiento que produce un cierto rechazo entre los consumidores debido a su intenso sabor a bovino. Dietas con mayores aportes de 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 vacuno mediante análisis instrumentales y posteriores análisis estadísticos. De esta manera se intentará describir el perfil aromático característico de la carne de vacuno de Raza Pirenaica.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA RAZA PIRENAICA

La raza bovina pirenaica, es una raza autóctona, que en la actualidad y a pesar de que se encontró al borde de la desaparición, se encuentra en auge; esto es debido gracias al enorme esfuerzo realizado por ganaderos y administraciones durante los últimos años.

La raza pirenaica a pesar de haber sido casi la única raza vacuna existente en la Cordillera Pirenaica durante siglos, sufrió durante décadas la invasión de razas foráneas que sin ser mejores que ella, la llevaron por distintas razones hasta el borde de la desaparición.

Hoy en día, no sólo se ha recuperado una vaca perfectamente adaptada al medio natural, si no un animal de gran belleza y extraordinarias cualidades que se muestra con un enorme futuro debido a excelentes parámetros reproductivos y productivos. La raza pirenaica debido a las condiciones en las que ha vivido desde siempre, es un animal capaz de aprovechar una serie de recursos que de otra manera se perderían y degradarían; debido a esa rusticidad y adaptabilidad puede aprovechar recursos que no lo son por otras razas de ganado vacuno.

Una serie de ventajas caracterizan a esta raza:

-Adaptación al medio (es criada a lo largo de toda la Cordillera Pirenaica y de toda la Comunidad Autónoma de Aragón en muy distintos sistemas de explotación y en muy diferentes medios debido al elevado número de ecosistemas presentes en nuestra Comunidad Autónoma).

-Rentabilización de pastos impidiendo la degradación de estos.

-Aprovechamiento de pastos de altura donde otras razas vacunas no llegan.

-Excelentes parámetros reproductivos y productivos.

2.1.1. Características de la raza pirenaica

La raza vacuna pirenaica puede definirse desde los caracteres generales de ortoidismo, tamaño medio y proporciones longilíneas; es una raza de perfiles rectos dominantes y con una aptitud cárnica predominante, olvidando los caracteres subhipermétricos que dominaban en la vaca pirenaica primitiva.

- La cabeza es de proporciones medianas, expresiva y ligera. Perfil subconcavo. Morro ancho, cuernos en lira y espiral de color blanco nacarado con puntas amarillentas.

- Cuello musculado, bien unido a la cabeza y al tronco, de línea superior recta e inferior con papada.

- Línea dorsolumbar recta, con costillar arqueado y grupa larga y horizontal.

- Muslos y nalgas muy desarrollados y aplomos correctos, con pezuñas de color claro con visos de color amarillento.

- Esqueleto fino y compacto; pezuñas bien desarrolladas y puestas, duras y resistentes.

- Capa monocolor, de color triguero más o menos claro; presenta decoloraciones alrededor de los ojos (ojos de perdiz), de las axilas y bragadas. Mucosas de color carne, sonrosadas.
- Ubre bien formada en tamaño, separación, inserción y longitud de los pezones.

2.1.1.1. Sistemas de explotación

Debido a la elevada rusticidad, la raza vacuna pirenaica es capaz de adaptarse no sólo a la extensa geografía navarra pasando desde explotaciones que se encuentran en los Pirineos hasta aquellas que se explotan en zonas próximas a las Bârdenas reales si no a un gran número de sistemas de explotación ; del tamaño de explotación familiar con un tamaño medio en torno a diez animales se está pasando (siguiendo una tendencia actual que también ocurre en otras razas) a explotaciones de un tamaño mayor.

2.1.1.2. Caracteres productivos

Uno de los aspectos más destacables de la raza pirenaica son los excelentes datos que obtenemos sobre parámetros reproductivos; esto es debido a la gran RUSTICIDAD gracias a la cual es capaz de adaptarse a medios y climatologías difíciles.

- Edad al primer parto: varía según la explotación , rondando los 30-36 meses. Posee una elevada precocidad sexual aunque el criador las dispone para la cubrición entre los 18 y 24 meses.

varía según la explotación , rondando los 30-36 meses. Posee una elevada precocidad sexual aunque el criador las dispone para la cubrición entre los 18 y 24 meses.- Fertilidad: Con una buena alimentación y un manejo adecuado se consigue un ternero al año. Se trabaja en nivel sanitario y en Inseminación Artificial para mejorar estas medias.

Con una buena alimentación y un manejo adecuado se consigue un ternero al año. Se trabaja en nivel sanitario y en Inseminación Artificial para mejorar estas medias.- Facilidad de parto: Este parámetro es uno de los que más destacan los ganaderos “la tranquilidad de que la vaca para sola”, y esto se debe a que es un animal longilíneo y con un esqueleto amplio.

Este parámetro es uno de los que más destacan los ganaderos “la tranquilidad de que la vaca para sola”, y esto se debe a que es un animal longilíneo y con un esqueleto amplio.- Como madre produce una abundante cantidad de leche, suficiente para la cría del ternero hasta el destete. En 305 días de lactación produce 2900 kilos de leche con el 3,7% de grasa.

- Es una raza longeva con una vida reproductiva de entre 15 y 20 años.
- Posee un gran índice maternal, siendo capaz de modificar sus reservas corporales sin dejar que el ternero reduzca su crecimiento normal.

2.1.2. Caracteres reproductivos

Se realiza el control de las explotaciones, gracias a las cuales se pueden mostrar buenos índices e ir mejorando día tras día los caracteres productivos de la raza Pirenaica.

Se realiza el estudio de estos caracteres:

- Peso nacimiento: Por su gran relación con la dificultad al parto.
- Peso 120 días: Indica la capacidad de cría de la vaca y su producción de leche.

Peso 120 días: Indica la capacidad de cría de la vaca y su producción de leche.- Peso a los 210 días: Indicador de los rendimientos posteriores del ternero ya que a esta edad un gran número de los terneros se encuentran en las explotaciones y es un dato que guarda una gran correlación con el peso al sacrificio.

Peso a los 210 días: Indicador de los rendimientos posteriores del ternero ya que a esta edad un gran número de los terneros se encuentran en las explotaciones y es un dato que guarda una gran correlación con el peso al sacrificio.- Peso al sacrificio y peso canal: Indica el valor real del animal.

Peso al sacrificio y peso canal: Indica el valor real del animal. Con los datos obtenidos en nuestras explotaciones podemos hablar de los siguientes resultados:

- Peso nacimiento: 42-43 kgs.
- Peso destete: (a los 5-6 meses): entre 250-300Kgs.
- Ganancia media diaria: 1,600 kgs.
- Índice de conversión: 4,5
- Peso vivo sacrificio (365 días): 550 kgs.
- Peso canal fría: 350 kgs.
- Rendimiento de la canal: 63%.

En general, las canales se caracterizan por su color rosado, de buena a muy buena conformación y poco cubiertas de grasa. La calidad de la carne se caracteriza por su ternura y jugosidad.

2.2. CALIDAD DE LA CARNE DE VACUNO

La Real Academia de la Lengua Española define el término “carne” como “la parte muscular del cuerpo de los animales”. No obstante, desde un punto de vista bromatológico este concepto es distinto del de “músculo”. Así, mientras que este último alude a la parte viva del organismo de un animal, el término “carne” hace referencia al producto que se obtiene cuando, tras el sacrificio, se somete la canal a maduración durante un periodo de tiempo en el que tienen lugar los cambios bioquímicos y estructurales necesarios que darán lugar a la transformación del músculo en carne.

Una de las definiciones más extendidas desde el punto de vista del consumidor del término “calidad” ha sido la propuesta por Hammond en 1995: “Aquello que gusta al consumidor y por lo que está dispuesto a pagar más que el precio medio”. No obstante, desde el punto de vista de la

carne, esta definición puede tener varias interpretaciones para el consumidor, el cual puede atender a diferentes criterios como son el valor nutritivo o las cualidades higiénico-sanitarias, tecnológicas y sensoriales u organolépticas del producto a consumir. En definitiva, la calidad de la carne va a depender de diversos factores en función del criterio establecido (Andersen et al., 2005; Brunsø et al., 2005).

Además, 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 (Beriaín 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.

Sin embargo, el aspecto que más nos interesa, objeto de nuestro estudio, es la calidad organoléptica o sensorial (Romans y Norton, 1989; Ingr, 1990; Wal, 1991; Boccard, 1992), que puede definirse como las características percibidas por los sentidos en el momento de la compra o del consumo, que influyen en la satisfacción sensorial (Sañudo, 1992). La caracterización de los factores determinantes de la calidad de la carne (Oliver y col., 1990) está adquiriendo una importancia creciente, en gran parte debida al interés de los consumidores por adquirir productos de calidad controlada, lo que ha desembocado en el incremento de las denominaciones de origen o de los distintivos de calidad en los productos alimenticios, que aseguran unas condiciones de producción y obtención controladas por instituciones oficiales (García, 2000).

2.2.1. Parámetros que determinan la calidad de la carne de vacuno

2.2.1.1. Composición química

La composición química de la carne es de vital importancia no sólo desde un punto de vista nutritivo, sino también en lo referente a las propiedades tecnológicas, higiénico-sanitarias y sensoriales. En términos generales, la carne de los mamíferos presenta un contenido de agua en torno al 65-80%, de proteína del 16-22%, de grasa intramuscular del 1,5-13,0% y alrededor de un 1,0% de cenizas. El resto lo constituyen carbohidratos, nitrógeno de origen no proteico y compuestos no nitrogenados que, aunque cuantitativamente tienen poca importancia, son de gran valor desde el punto de vista nutritivo de la carne (Lawrence y Fowler, 1997; Lawrie, 1998). En el caso concreto de la carne de vacuno los valores oscilan alrededor del 75% de agua, 22% de proteína y 3% de grasa intramuscular sobre una base de materia fresca (Maher et al., 2004; Delgado et al., 2005). Para la determinación de estos valores generalmente se utiliza el músculo longissimus thoracis, ya que éste es un buen indicador de la composición química de los principales músculos de la canal (Sañudo et al., 2001).

Estos resultados reflejan que el agua es, cuantitativamente, el componente mayoritario de la carne, llegando a representar en carnes magras hasta un 80% del peso de la materia fresca. La proporción en la cual se encuentra el agua en los diferentes músculos va a estar condicionada por la cantidad de grasa intramuscular, ya que se sabe que ambos componentes están inversamente relacionados (Swatland, 1991; Wismer-Pedersen, 1994). En este sentido, Downey y Hildrum (2004) observaron, en carne de vacuno, una relación inversa entre los contenidos de grasa y agua del músculo. A su vez, Wismer-Pedersen (1994) manifestó que, dentro de un amplio rango de contenido graso, la proporción entre proteína y agua es casi constante. No obstante, y según este autor, esta regla se aplica a la carne de vacuno con pesos vivos superiores a 450 kg, ya que, en animales de menor peso y edad, esta relación es menor.

En cuanto a las proteínas presentes en la carne, son de especial interés, en lo que a la calidad de la carne se refiere, las proteínas miofibrilares del tejido muscular. De éstas, las mayoritarias son la actina y miosina, con proporciones que representan hasta el 20 y 40% de las proteínas miofibrilares, respectivamente. No obstante, el resto de las proteínas miofibrilares, aunque se encuentren en menor cantidad (actinina, tropomiosina, tinina, desmina y troponina T, entre otras), también desempeñan un papel importante tanto en la estructura del sarcómero o miofibrilla y en su contracción y relajación como en los procesos de maduración de la carne.

Por otra parte, el colágeno, proteína mayoritaria del tejido conjuntivo o conectivo, ejerce una gran influencia sobre las características de la textura de la carne, por lo que tanto su contenido como su solubilidad, son características que determinarán, en gran medida, la calidad de la carne

(Takahashi, 1996; Tornberg, 1996), tal y como se estudiará con mayor detalle en el apartado correspondiente a dicho parámetro.

La fracción lipídica es, generalmente, el componente más variable de la carne ya que su contenido depende de diversos factores, entre los que cabe destacar la raza (Cerdeño et al., 2001; Scollan et al., 2005), el sexo (Varela et al., 2003), la edad (Renand et al., 2001) y el tipo de alimentación (O'Sullivan et al., 2003). Las características de la grasa de la carne son de gran interés desde el punto de vista sanitario, tecnológico y gastronómico.

Los distintos tipos de ácidos grasos y su proporción, así como el contenido de colesterol de la carne, tienen diferentes efectos sobre la salud del consumidor. Por ejemplo, se sabe que las carnes con un alto contenido en ácidos grasos insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados) son más beneficiosas para la salud humana que aquéllas con un exceso de grasas saturadas, ya que estas últimas favorecen la aparición de aterosclerosis y el desarrollo de problemas cardiovasculares (Capillo y de Arcos, 2001; Corl et al., 2003). Según Scollan et al. (2005), el contenido de grasa intramuscular en carne de vacuno suele ser inferior al 5%, con aproximadamente un 47, 42 y 4% del total de ácidos grasos como ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, respectivamente.

De los ácidos grasos presentes en la grasa intramuscular de la carne de vacuno, los más abundantes entre los saturados son el esteárico y palmítico, y en cuanto a los insaturados, el oleico (Calvo, 2000; Dios, 2000; Varela et al., 2003). El ácido palmítico aumenta la concentración de colesterol sanguíneo; sin embargo, los ácidos esteárico y oleico parece que no tienen ningún efecto sobre el mismo (Grundy, 1986). Por otra parte, en los últimos años se han llevado a cabo extensas investigaciones sobre varios isómeros del ácido linoleico conjugado que, a pesar de su baja proporción en carne de vacuno, parece ser que tienen efectos anticarcinogénicos, antiterogénicos y contra la obesidad (Scollan et al., 2005).

En cuanto al punto de vista tecnológico, el contenido y la estructura química de los ácidos grasos determina que la grasa en cuestión sea más o menos fluida, aspecto de gran importancia en el proceso de industrialización. Por ejemplo, la grasa constituida por un porcentaje más elevado de ácidos grasos insaturados presenta un punto de fusión más bajo y, por lo tanto, una consistencia más blanda y oleosa que aquélla más rica en ácidos grasos saturados (Martín, 2001).

Desde el punto de vista gastronómico, parece ser que existe una relación positiva entre la cantidad de grasa intramuscular infiltrada en el músculo y las características sensoriales que el consumidor percibe, como son la ternura, la jugosidad y el flavor (Capillo y de Arcos, 2001).

Con respecto al contenido de minerales en la carne cabe destacar el hierro, elemento del que las carnes rojas constituyen una fuente muy importante de la dieta humana. Este mineral es fundamental para la salud humana ya que participa en numerosas funciones, como la formación de los pigmentos hemínicos y de los glóbulos rojos, así como en el transporte de oxígeno. Las carnes también son ricas, aunque en menor medida, en macrominerales como el potasio (interviene en la mayor parte de las funciones vitales y regula el equilibrio del agua en el organismo junto con el sodio), el fósforo (necesario tanto para el buen funcionamiento de las células cerebrales como para la formación de la estructura ósea), el calcio (necesario para la formación de la estructura ósea y los dientes, para la coagulación de la sangre, para la transmisión de los impulsos nerviosos, las pulsaciones, el ritmo cardíaco...) y el magnesio (favorece la fijación del calcio en los huesos y actúa como tranquilizante del sistema nervioso) (Capillo y de Arcos, 2001). Además, la carne también contribuye a la dieta con cantidades

apreciables de microminerales o elementos traza como son el cobre y el selenio, que resultan indispensables debido a que el primero favorece la absorción del hierro, mientras que el segundo protege a las células de la oxidación (Pearson, 1999).

Por otra parte, la carne también es una fuente importante de vitaminas hidrosolubles en la dieta del consumidor, fundamentalmente del grupo B, como la tiamina, riboflavina, niacina y ácido pantoténico (Windham et al., 1990). Además, también puede aportar una pequeña parte de vitaminas liposolubles, sobre todo A y E (retinol y tocoferol, respectivamente) (Smith, 1990; Pearson, 1999).

2.2.1.1.1. Factores antemortem

2.2.1.1.1.1. Raza

Una de las mayores diferencias de tipo racial, en cuanto a la composición química de la carne se refiere, se observa cuando comparamos razas de madurez precoz (ej. Frisona) con razas de madurez tardía (eg. Azul Belga, Limusín, Rubia de Aquitania) ya que, en animales de la misma edad, las primeras presentan una proporción más baja de músculo y más alta de grasa y, por lo tanto, un menor contenido en agua que las razas de madurez tardía.

Esta menor proporción de grasa intramuscular en los animales de desarrollo tardío (razas cárnicas) va en detrimento del flavor y de la jugosidad, especialmente en animales jóvenes sacrificados a los 15-18 meses de edad (Hocquette et al., 2005). Por el contrario, la precocidad de los animales de aptitud láctea favorece el depósito de grasa intramuscular, por lo que sacrificados a la misma edad presentarán una carne más jugosa que las razas cárnicas (Beriaín y Lizaso, 1998).

Con respecto a las razas de aptitud cárnica que pueden encontrarse en la provincia de León, en la bibliografía existente aparecen trabajos como el de Cerdeño et al. (2001), en el que se comparó la composición química de la carne de buey pertenecientes a las razas Asturiana de los Valles, Limusín y Parda. Los resultados demostraron que esta última presentaba un porcentaje más bajo de agua, proteína y cenizas, y un mayor contenido de grasa intramuscular y energía que las otras dos razas.

Cabe señalar, no obstante, que la raza no es el factor más importante de todos los que determinan la calidad de la carne. En este sentido, y según la bibliografía consultada, las diferencias entre animales de diferentes razas (eg. Aubrac, Charolés, Limusín y Salers) son, a menudo, menores que entre animales dentro de la misma raza, y generalmente son anuladas por las grandes diferencias que existen entre músculos o piezas comerciales dentro de un mismo animal y por las interacciones con la edad y peso al sacrificio (Wulf et al., 1996; Dransfield et al., 2003).

2.2.1.1.1.2. Edad-Peso

La edad es otro factor que influye sobre la calidad de la carne, en general, y sobre la composición química, en particular. Sin embargo, en este apartado es preciso diferenciar entre la edad cronológica (días desde el nacimiento) y edad fisiológica (porcentaje de peso vivo adulto alcanzado) que determina el estado de desarrollo del individuo, ya que esta última influye notoriamente en la diferencia entre razas, determinando su precocidad y su peso al sacrificio (Santolaria, 1993).

Ya en los años 50 se sabía que el porcentaje de agua en el músculo disminuye conforme el animal crece, mientras que la concentración de proteína, minerales y contenido lipídico aumenta (Callow, 1947; Lawrie, 1961). Así, Berg y Butterfield (1979) indicaron que, en ganado vacuno, cuando el peso vivo del animal aumenta de 150 a 1200 kg, el contenido graso del peso vivo vacío aumenta del 6 al 36%, mientras que el de agua disminuye del 50 al 37%. Posteriormente, resultados similares fueron observados en carne de vacuno por varios autores (Vestergaard et al., 2000; Renand et al., 2001).

Cuantitativamente, la grasa intramuscular es el constituyente químico más variable en el músculo de manera que la proporción de este componente se incrementa conforme aumenta la edad o peso del animal, ya que es un depósito de desarrollo tardío (Aberle et al., 2001a). Así, Bruns et al. (2004) en un estudio realizado con machos castrados repartidos en 5 grupos según el peso de la canal caliente (204; 250; 295; 340 y 386 kg), observaron un incremento gradual en el contenido de la grasa intramuscular (2,58; 3,65; 4,98; 6,50 y 8,20% de grasa intramuscular sobre MS) a medida que aumentaba el peso de la canal.

2.2.1.1.1.3. Sexo

En general, en el ganado bovino, los machos castrados y las hembras suelen tener un desarrollo más precoz que los machos enteros, por lo que sacrificados a la misma edad cronológica presentan mayor cantidad de grasa intramuscular y menor contenido de agua y cenizas que estos últimos (Beriaín y Lizaso, 1998; Aberle et al., 2001a; Varela et al., 2003).

Por otro lado, la castración influye en la composición química de la grasa intramuscular del ganado bovino provocando un incremento de la proporción de ácidos grasos monoinsaturados y saturados, por una parte, y una disminución de la de poliinsaturados, por otra (Varela et al., 2003). Estos autores observaron un menor aumento de los ácidos grasos saturados con respecto a los insaturados y, que entre los ácidos grasos monoinsaturados, se producía un gran aumento del ácido oleico (C18:1).

En estudios con ganado bovino en los que se han comparado machos castrados frente a hembras con un contenido similar de grasa intramuscular, se ha encontrado un mayor porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados, fundamentalmente oleico, y una menor proporción del ácido palmítico (saturado), en las hembras que en los machos castrados; mientras que en lo que concierne a la proporción de ácido linoleico conjugado, no se han apreciado diferencias entre ambos sexos (Zembayashi et al., 1995; Kazala et al., 1999 y Elías et al., 2000).

En cuanto al contenido de proteína en el músculo, las diferencias entre sexos no están tan claras. De esta forma, Varela et al. (2001) no observaron diferencias significativas, entre machos y hembras, en carne de ternero de raza Rubia Gallega sacrificados sin destetar antes de los 10 meses de edad. No obstante, Destefanis et al. (2003) reflejaron, en carne de ganado bovino perteneciente a la raza Piamontesa, un mayor contenido de proteína en los machos castrados que en los enteros.

2.2.1.1.1.4. Alimentación

La alimentación es uno de los factores que más influye en la composición química de la carne. En general, aquellos animales que han consumido dietas ricas en piensos concentrados presentan una mayor proporción de grasa que los que se han alimentado con forrajes (O'Sullivan et al., 2003).

Por otro lado, es bien conocido que los forrajes representan una rica fuente de ácido linolénico (C18:3), con lo cuál, administrados en la dieta de los rumiantes, aumentarán el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en la carne de los mismos. De este modo, Lorenz et al. (2002) constataron un incremento de los ácidos grasos poliinsaturados n-3 en ganado bovino cuyo periodo de acabado estuvo basado en el pastoreo, en comparación con los animales alimentados con raciones ricas en concentrado. Similares resultados fueron descritos por Nürnberg et al. (2002) en machos castrados Holstein y machos enteros Simmental, y por Yang et al. (2002) en machos castrados Hereford.

Por otra parte, los forrajes también proporcionan antioxidantes, incluyendo la vitamina E, a la carne de los animales que los ingieren, lo cual, mantiene los niveles de PUFA en carne y disminuye la oxidación lipídica previniendo, de este modo, el deterioro de la calidad de la carne durante su almacenaje y procesado (Yang et al., 2002; Wood et al., 2003). Las semillas de oleaginosas también presentan un contenido elevado de ácidos grasos poliinsaturados y, por ello, también pueden emplearse para modificar la composición de la grasa en los rumiantes. Así, por ejemplo, la semilla de colza y el haba de soja son alimentos ricos en oleico y linoleico, respectivamente, por lo que animales alimentados con esos productos, generalmente, darán lugar a carnes ricas en los correspondientes ácidos grasos (Scollan et al., 2005).

2.2.1.1.2. Factores post mortem

Según Beriaín y Lizaso (1998) y Ruiz de Huidobro et al. (2003), el contenido de agua en la carne de vacuno no cambia significativamente durante el periodo de maduración. Daszkiewicz et al. (2003), en un estudio realizado con carne de vacuno madurada durante diferentes periodos de tiempo (3, 7, 10 y 14 días), observaron que los cambios en el porcentaje de materia seca durante el almacenaje en frío (0-2° C) fueron apenas considerables, observando un incremento estadísticamente no significativo a partir de los 14 días de maduración. Aunque las variaciones también fueron pequeñas, estos autores observaron un incremento en el contenido de cenizas, proteínas solubles y nitrógeno de origen no proteico, siendo sus proporciones significativamente más altas en la carne después de 10 y 14 días de maduración que después de 3 y 7 días. Este incremento de la cantidad de proteína soluble es causa de la degradación gradual de las proteínas musculares, incluyendo las miofibrilares, que se fragmentan aumentando, por lo tanto, su solubilidad durante el periodo de maduración.

2.2.1.2.pH

El pH es el logaritmo negativo de la concentración de protones de una disolución y su valor se expresa en una escala de 0 (ácido) a 14 (básico). En lo que a esta revisión se refiere, este valor es un atributo determinante de la calidad de la carne, ya que está relacionado con los procesos bioquímicos que tienen lugar durante la transformación del músculo en carne, e influye directamente en las características físico-químicas de este producto.

En términos generales, el pH muscular de los animales vivos se encuentra en un rango comprendido entre 7,08 y 7,30. En el caso de los bóvidos, una vez sacrificado el animal, el pH inicial del músculo longissimus thoracis es de 7,08, y generalmente alcanza valores de 5,4 -5,8 a las 48 horas post mórtem (Pearson y Young, 1989; Beriaín y Lizaso, 1998). Valores fuera de ese rango indican una posible merma de las cualidades de la carne en lo que a la calidad se refiere.

Como ya se comentó anteriormente, tras el sacrificio del animal y como consecuencia del fallo circulatorio y respiratorio, se produce un cese del aporte sanguíneo de oxígeno y nutrientes al músculo. Como consecuencia, el tejido muscular, con el objetivo de mantener su temperatura e integridad estructural, utiliza sus reservas de energía en forma de glucógeno para sintetizar ATP a través de la glucólisis anaerobia. Conforme se reducen los niveles de ATP, se genera fosfato inorgánico que a su vez estimula la degradación de glucógeno a ácido láctico. De este modo se incrementan los niveles de ácido láctico en el músculo, lo que provoca un descenso gradual del pH muscular que continúa hasta que se agotan las reservas de glucógeno o se inactivan los enzimas que rigen el metabolismo muscular (Beriaín y Lizaso, 1998). Por lo tanto, este descenso del pH es una de las modificaciones físico-químicas que sufren los músculos durante el periodo post mórtem y que conducen a la instauración del rigor mortis. El desarrollo del rigor mortis constituye la primera etapa de transformación del músculo en carne y comienza inmediatamente después del sacrificio del animal. Su instauración depende de numerosos y variados factores (especie, raza, individuo, músculo, etc.) pero, en condiciones normales, el tiempo necesario para alcanzar el rigor mortis en vacuno oscila de 15 a 30 horas aunque, a efectos prácticos, se considera que la carne ha alcanzado el rigor mortis a las 24 horas post mórtem, habitualmente (Roncalés, 2001).

No obstante, la caída del pH, además de otros factores que veremos a continuación, depende del tipo de fibras musculares predominantes en un músculo dado, de manera que los músculos con predominio de fibras de contracción rápida (blancas), al tener mayor contenido de glucógeno que los músculos con predominio de fibras de contracción lenta (rojas), alcanzan valores finales de pH menores (5,5-5,6 vs. 5,6-5,8) (Ordóñez et al., 1998; Roncalés, 2001).

2.2.1.2.1. Factores antemortem que influyen en el pH

2.2.1.2.1.1. Raza

Según la bibliografía consultada, la mayoría de los trabajos coinciden en afirmar que la raza no es un factor de variación importante en el pH final de la carne de vacuno, y que éste depende más de otros factores como, por ejemplo, el manejo de los animales antes del sacrificio (Sañudo et al., 1999; Lively et al., 2005; Monsón et al., 2005b).

No obstante, en un estudio reciente llevado a cabo con machos de ganado bovino de diferentes razas europeas, Hocquette et al. (2005) encontraron que las razas de aptitud cárnica (eg. Piamontesa) presentaban un pH más bajo que las razas rústicas (eg. Asturiana de la Montaña, Avileña), en muestras de carne maduradas durante 10 días. Estas diferencias en el pH entre razas probablemente sean debidas a un metabolismo oxidativo más elevado en el músculo de las razas rústicas, como consecuencia de una mayor proporción de fibras rojas, las cuales, como ya se ha comentado anteriormente, se caracterizan por poseer concentraciones de glucógeno bajas, con lo cuál, el pH final alcanzado es relativamente alto (Jurie et al., 2004).

2.2.1.2.1.2. Edad-Peso

Son varios los autores que han observado una correlación negativa entre el engrasamiento de la canal de ganado bovino y el pH del músculo, de manera que los valores de pH más altos son más frecuentes en carne de ternero jóvenes con bajos niveles de engrasamiento (Wulf et al., 1997; Page et al., 2001). Además, Page et al. (2001) demostraron que en canales de ganado bovino con menos de 0,76 cm de profundidad de grasa subcutánea, el pH fue más alto que en aquéllas con mayor grosor de cobertura grasa. Estos autores atribuyeron este hecho a un

enfriamiento más rápido de las canales ligeras con una menor cobertura grasa que actúa de aislante, lo que determina que las reacciones glucolíticas post mórtem sean más lentas, por lo que el valor del pH final alcanzado es más alto.

2.2.1.2.1.3. Sexo

Generalmente, en el ganado bovino, los machos enteros presentan un valor de pH final más elevado que los machos castrados y las hembras, y no se suelen encontrar diferencias significativas en el pH de estos dos últimos (Pageet al., 2001; Varela et al., 2003).

Según Tarrant (1981), el pH más alto en la carne obtenida de machos enteros también puede ser debido a que poseen un temperamento más excitable y un comportamiento más agresivo que se pone de manifiesto, sobre todo, durante el transporte y la espera en los corrales previa al sacrificio, fundamentalmente debido a la mezcla de animales de distinta procedencia. Todo ello, provoca que estos animales consuman las reservas de glucógeno presentes en el músculo antes del sacrificio, lo cual limita la glucólisis post mórtem que produce el ácido láctico. Ello puede dar lugar a canales con valores de pH elevados ($\text{pH} > 6$), lo que se conoce con la denominación de carnes DFD (“Dark” Oscuras, “Firm” Firmes, “Dry” Secas).

2.2.1.2.1.4. Estrés

Sin lugar a dudas, uno de los factores que determina cambios en el pH de la carne es el estrés que sufren los animales antes del sacrificio. Son muchos los agentes 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 reagrupación de animales de distinta procedencia. En definitiva, tanto las condiciones y duración del transporte desde las explotaciones de origen hasta el matadero, como las condiciones en que se realicen la carga y descarga de los animales y el tiempo de espera previo al sacrificio pueden producir estrés a los animales.

El estrés, como ya se ha comentado anteriormente, provoca que el animal consuma las reservas de glucógeno presentes en el músculo, antes del sacrificio. Esto determina la aparición de carnes DFD, con un pH elevado ($\text{pH} > 6$), y unas características como el color, la capacidad de retención de agua o la textura que no son las deseables (Beriaín y Lizaso, 1998). En este sentido, muchos han sido los autores que han confirmado la aparición de carnes DFD, en ganado bovino, a causa del estrés ante mórtem sufrido por los animales (Dransfield, 1981; Viljoen et al., 2002; Wulf et al., 2002)

2.2.1.2.2. Factores post mortem

La maduración de la carne es un proceso decisivo en el descenso del pH, de manera que durante este periodo de tiempo el pH desciende desde valores comprendidos entre 7,08-7,30 hasta valores de 5,4-5,8 a las 48 horas post mórtem (Beriaín y Lizaso, 1998). En este sentido, Ruiz de Huidobro et al. (2003) observaron en vacuno un descenso significativo en el pH del músculo longissimus thoracis y lumborum desde 6,5 a los 45 minutos post mórtem, hasta 5,5 a las 24 horas, valor que se mantuvo estable a lo largo de los siguientes cinco días de maduración.

Otro factor post mórtem a tener en cuenta es la temperatura del músculo, que también modula la velocidad de la glucólisis, de modo que temperaturas elevadas, es decir, temperaturas alrededor

de los 40° C, aceleran el descenso del pH, siendo necesarias menos horas para alcanzar el pH final que cuando las canales son sometidas a bajas temperaturas (Pearson y Young, 1989).

Por otro lado, las condiciones de envasado pueden modificar el descenso normal del pH de una canal. Así, Daszkiewicz et al. (2003), en un trabajo llevado a cabo con carne de vacuno envasada al vacío en bolsas de polietileno a las 48 horas post mórtem y conservada a una temperatura de entre 0-2° C durante diferentes tiempos de maduración (3, 7, 10 y 14 días), observaron que los valores de pH recogidos a los 3, 7, y 10 días de maduración fueron relativamente bajos (5,37, 5,35 y 5,37, respectivamente) y no cambiaron mucho durante el almacenaje. Sin embargo, sí se produjo un ligero incremento del pH a los 14 días de maduración (5,43), que pudo ser resultado de la acumulación de productos alcalinos generados durante la autólisis de la carne.

2.2.1.3.Capacidad de retención de agua (CRA)

Como ya se ha mencionado en el apartado de la composición química, la parte muscular de los mamíferos recién sacrificados contiene una media de un 75% de agua, porcentaje que varía dependiendo de la especie y del músculo en cuestión (Lawrence y Fowler, 1997; Lawrie, 1998). No obstante, este porcentaje de agua disminuye debido a pérdidas por evaporación durante el enfriamiento de las canales, pérdidas por presión debido a fuerzas externas, pérdidas por goteo como consecuencia de la sección de los tejidos, pérdidas por descongelación, o pérdidas por cocción tras el cocinado de la carne.

Estas pérdidas de agua son importantes no sólo desde un punto de vista económico (pérdida de peso de la carne fresca) y tecnológico (carnes con baja CRA tendrán mayores pérdidas de agua por goteo durante el almacenaje, mientras que aquéllas con alta CRA se caracterizarán por un “hinchamiento” de las mismas), sino también, desde la perspectiva de la calidad de la carne a la hora del consumo, ya que del agua dependen aspectos tan importantes como la apariencia, jugosidad y dureza durante la masticación. Por esta razón, el estudio de la capacidad de la carne para retener el agua es de gran importancia (Offer y Knight, 1988). En este sentido, la capacidad de retención de agua (CRA) viene definida como “la aptitud de la carne -o más generalmente de los sistemas cárnicos- para retener el agua de constitución y/o agua añadida” (Honikel y Hamm, 1999).

Una parte del agua que reside en el músculo se encuentra ligada a las proteínas actina y miosina, con las que establece puentes de hidrógeno. Esta parte del agua se encuentra, por tanto, localizada dentro de las miofibrillas, entre los filamentos finos (filamentos de actina: formados por una doble hélice de moléculas proteicas globulares de actina, además de otras proteínas como

la troponina y tropomiosina) y gruesos (filamentos de miosina: formados por moléculas de miosina), y supone hasta un 5% del total de agua en el músculo. También hay una pequeña parte de agua inmovilizada dentro de las miofibrillas, no ligada, pero orientada a los grupos hidrófilos de las proteínas. Sin embargo, la mayor parte del agua existente en el músculo (aproximadamente un 95%), se encuentra de forma “libre” entre las fibras musculares, en el espacio extracelular (Mckeith et al., 1994; Honikel y Hamm, 1999).

Son varias las técnicas que se utilizan para medir la capacidad de retención de agua de una muestra de carne. Las más utilizadas se clasifican en relación con el tipo de tratamiento al que se somete la muestra:

- a) Pérdidas por goteo, que no aplican ningún tipo de tratamiento a la carne.
- b) Pérdidas por presión, que aplican una fuerza externa.
- c) Pérdidas por cocción, que aplican un tratamiento térmico.

En el primer caso la única fuerza aplicada a las muestras es la gravedad, de modo que las pérdidas de agua que sufre la carne por goteo, evaporación o descongelación se determinan por diferencia entre el peso inicial y el peso final. En todas ellas, el agua perdida procede exclusivamente del espacio extracelular.

En el segundo caso, las muestras de carne son sometidas a una fuerza externa que puede ser de diferente naturaleza. De esta forma, existen técnicas basadas en la presión en papel de filtro, en la centrifugación o en volumetría capilar. En cualquier caso, la fuerza aplicada provoca la liberación del fluido desde los espacios extracelular e intracelular.

Por último, las pérdidas de agua que tienen lugar durante el cocinado se determinan después de calentar la carne durante un determinado periodo de tiempo. Existen diferentes métodos para su medición que difieren principalmente en la temperatura y en el tiempo de cocinado, y en los que se registran pérdidas de agua de hasta un 40% (Offer y Knight, 1988). En este caso, el líquido liberado proviene del agua procedente de los espacios extracelular e intracelular.

Como puede observarse, la procedencia del agua liberada difiere según el método a seguir, por lo que los resultados obtenidos a partir de los métodos descritos no son comparables entre sí. Además, la cantidad de agua liberada varía dependiendo del método y del periodo post mórtem. Así, en la misma pieza de carne tras 24 h post mórtem puede haber un 3% de pérdidas por goteo, un 25-35% de pérdidas por cocción, y hasta un 40% de pérdidas por presión (Honikel y Hamm, 1999).

2.2.1.3.1. Factores antemortem que influyen en el CRA

2.2.1.3.1.1. Raza

Uno de los factores que influye significativamente en la capacidad de retención de agua de la carne es la raza del animal. Este hecho queda patente en un estudio llevado a cabo por Chambaz et al. (2003), autores que estudiaron la diferencia en la calidad de la carne en animales de cuatro razas distintas de ganado bovino (Angus, Simmental, Charolés y Limusín) con diferentes grados de precocidad. En lo que a la CRA se refiere, la raza Limusín fue la que mostró las mayores pérdidas por goteo; sin embargo, fue la raza con menores pérdidas por cocinado, posiblemente debido a un contenido de grasa intramuscular más alto.

También se han observado diferencias en la CRA entre razas de aptitud cárnica y razas rústicas. Así, Hocquette et al. (2005), en un estudio llevado a cabo recientemente con 243 machos de 8 razas bovinas europeas de España, Italia y Francia, encontraron que las razas con aptitud cárnica, como por ejemplo la Piamontesa, presentaron mayores pérdidas por goteo que las razas rústicas como la Asturiana de la Montaña y Avileña, posiblemente debido a que estas últimas posean, como ya mencionó Jurie et al. (2004), un mayor metabolismo oxidativo muscular, consecuencia del predominio de fibras rojas en el músculo. Esta circunstancia, como ya se comentó en el apartado del pH, tiende a favorecer en la carne pH altos.

Por otro lado, Lively et al. (2005) observaron que las pérdidas por cocción fueron significativamente superiores en machos castrados menores de tres años pertenecientes a la

raza Charolés que en aquéllos de raza Frisona, posiblemente debido a que las razas lecheras tienen un metabolismo oxidativo más alto, y por tanto, las pérdidas de agua son más bajas. Sin embargo, Monsón et al. (2005b) no observaron diferencias entre terneros, con una edad media entre 7 y 8 meses y de diferentes razas (Frisona, Parda Alpina, Limusín y Rubia de Aquitania), en la CRA medida como pérdidas de agua por presión.

Por lo tanto, las mayores diferencias entre animales de la misma edad pero de razas diferentes, se observan al medir las pérdidas por cocción. Estas diferencias radican, posiblemente, en la variabilidad que existe entre razas en cuanto al predominio del tipo de fibras musculares o al contenido de grasa intramuscular se refiere. En cuanto al tipo de fibra, Wismer-Pedersen (1994) sugirieron que parte de estas diferencias podrían estar causadas por un mayor predominio de músculos en los que abundan las fibras rojas y que, por tanto, tiende a favorecer pH altos. Con valores de pH elevados, alejados del punto isoeléctrico de las proteínas (5,1), éstas presentan radicales libres para la captación de moléculas de agua, por lo que las repulsiones electrostáticas entre las proteínas y el agua aumentan, lo que da lugar a una estructura cerrada que implica una elevada CRA en razas como la Asturiana de la Montaña y la Avileña. Por otro lado, Hornstein et al. (1960), manifestaron que animales pertenecientes a razas con un contenido de grasa intramuscular más alto poseen una mayor CRA por cocción, ya que al calentar la carne, la grasa se funde y se sitúa a lo largo de las bandas de tejido conectivo perimisial, donde actúa como una barrera frente a las pérdidas por humedad

2.2.1.3.1.2. Edad-Peso

Según los datos aportados por varios autores (Hamm, 1960; Asenjo, 1999) los animales adultos tienen una mayor capacidad para retener el agua de constitución que los animales más jóvenes, debido a la presencia de una mayor cantidad de grasa intramuscular que se incrementa con la edad del animal, y que, como se ha comentado previamente, puede afectar a la microestructura del músculo.

Estos resultados coinciden con los descritos por Moss et al. (2005), autores que obtuvieron en el músculo longissimus thoracis de machos de raza Frisona de la misma edad, con pesos vivos comprendidos entre 300-550 kg, un descenso significativo de las pérdidas por cocción a medida que aumentaba el peso del animal.

2.2.1.3.1.3. Sexo

Varela et al. (2003) no apreciaron diferencias estadísticamente significativas en las pérdidas de agua por goteo y presión del músculo longissimus thoracis entre machos enteros y castrados, pertenecientes a la raza bovina Rubia Gallega y sacrificados con 24 meses. Sin embargo, sí observaron que las pérdidas de agua por cocinado a las 24 horas post mórtem fueron más bajas en los animales castrados que en los enteros, resultados que coinciden con lo descrito por otros autores (Dikeman et al., 1986; Seideman et al., 1986). Para explicar estas diferencias, Varela et al. (2003) se apoyaron en la explicación de Hornstein et al. (1960), manifestando que los animales castrados tienen un contenido de grasa intramuscular más alto de modo que, como se ha comentado previamente, al calentar la carne, la grasa fundida se sitúa a lo largo del perimio impidiendo las pérdidas de agua.

Por otra parte, Ruiz de Huidobro et al. (2003) constataron en ganado bovino, de padre Limusín, Charolés o Parda Alpina y de madre Avileña-Negra Ibérica, que las pérdidas de agua por cocción en el músculo longissimus thoracis eran más bajas en las hembras (1 año de edad) que en los

machos enteros (16 meses de edad), posiblemente debido a que las primeras mostraron contenidos de grasa intramuscular más elevados.

Sin embargo, Destefanis et al. (2003) no observaron diferencias estadísticamente significativas en la CRA cuando midieron las pérdidas de agua por goteo o por cocción en el músculo longissimus thoracis de machos enteros y castrados de 405 días de edad media y pertenecientes a la raza bovina Piamontesa. Del mismo modo, Varela et al. (2001) tampoco encontraron diferencias estadísticamente significativas en la CRA (medida como pérdidas por cocción, goteo o presión a las 24 horas post mórtem) del músculo longissimus thoracis de machos y hembras de raza Rubia Gallega sacrificados sin destetar antes de los 10 meses de edad, quizás debido a que tanto los valores de pH como los de grasa intramuscular fueron muy similares.

2.2.1.3.2. Factores post mortem

Durante el rigor mortis se producen cambios en las propiedades de la carne como la CRA. Durante este periodo, el pH va disminuyendo hasta que se aproxima al punto isoelectrico de las proteínas miofibrilares (5,1). Con este valor de pH, las repulsiones electrostáticas entre las proteínas disminuyen, por lo que la CRA se ve reducida. Por otro lado, la desaparición del ATP, que tiene lugar con la instauración del rigor mortis, impide que se mantenga la integridad estructural, tanto de las proteínas, por lo que éstas sufren fenómenos de desnaturalización que reducen aún más la cantidad de agua retenida por la carne, como del músculo, provocando una lenta despolarización de las membranas, lo que ocasiona la salida de Ca^{2+} del retículo sarcoplásmico al espacio miofibrilar. Así, esta falta de ATP junto con la presencia de una concentración creciente de Ca^{2+} provoca una unión irreversible de los filamentos de actina y miosina y, por tanto, un acortamiento de los sarcómeros. Llegado este momento los filamentos no pueden separarse entre sí y el agua no tiene cabida en el interior de la miofibrilla, de modo que se produce una acusada disminución de la CRA (Roncalés, 2001), lo que provoca un aumento del jugo expelido (Sellier, 1988; Garrido y Bañón, 2001).

Sin embargo, parece claro que la CRA mejora ligeramente durante el periodo de maduración. Así lo reflejaron Daszkiewicz et al. (2002) en su estudio, quienes observaron que la carne de vacuno madurada durante 10 días presentaba una CRA (medida como pérdidas por presión) superior que esa misma carne a los 3 y 7 días de maduración y, esa CRA mejoraba aún más a los 14 días del periodo de maduración. Similares variaciones en la CRA a lo largo del periodo de maduración han sido descritas en trabajos previos (Meller et al., 1998; Litwinczuk et al., 2001). En este sentido, Ruiz de Huidobro et al. (2003) observaron un incremento significativo de la CRA en un trabajo realizado con carne de hembras de vacuno a lo largo del periodo de maduración, de modo que el porcentaje de agua expelida disminuyó significativamente entre el primer y tercer día de maduración, y permaneció prácticamente invariable hasta el último día objeto de estudio (sexto día).

2.2.1.4. Textura

Actualmente existen muchas definiciones de textura, pero una de las más utilizadas es la descrita por Szczesniak en 1963, quien definió esta característica como “la manifestación sensorial de la estructura del alimento y la forma de reaccionar de éste frente a la aplicación de fuerzas”. Por lo tanto, la textura es una propiedad que engloba el atributo de ternura, o su inverso, la dureza (Chrystall, 1999). Según Lawrie (1991), la sensación de ternura al paladar durante la masticación se debe a la facilidad o dificultad de la penetración de los dientes y de la

fragmentación del alimento en cuestión, así como a la cantidad de residuo generado al término de la masticación.

La textura es de máxima importancia en lo que a la calidad de la carne se refiere, ya que es un parámetro que influye en gran medida sobre la aceptabilidad de este producto por parte del consumidor (Tornberg, 1996; Beriaín y Lizaso, 1998). Ciertos estudios han llegado incluso a demostrar que los consumidores consideran la ternura como el componente más importante de la calidad de la carne (Koochmaraie et al., 2005).

El consumidor confiere una mayor importancia 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 dureza decide el valor comercial de la carne, y Boleman y col. (1997) confirman que el consumidor paga por una carne menos dura. En este sentido también coinciden Dransfield y col. (1984a) y Seideman y col. (1989), que afirman que el elemento prioritario considerado por los consumidores al valorar la calidad de la carne es la dureza (su ausencia, claro está). Otros autores señalan que tanto la dureza como el color de la carne son los parámetros principales que determinan las preferencias del consumidor (Pearson, 1966; Prescott y Hinks, 1968). Mientras que otros autores opinan que la dureza y el flavor son considerados por los consumidores como los elementos más importantes de la calidad sensorial, mientras que el color es el principal atributo valorado en el punto de compra (Glitsch, 1997).

El conjunto de sensaciones ligadas a la textura son difíciles de medir mediante técnicas instrumentales; por ello, las técnicas sensoriales de momento son las más válidas para valorar este complejo atributo. Algunos investigadores han intentado relacionar el análisis instrumental de la textura con el análisis sensorial (Costell y Duran, 1981), y de todos los parámetros instrumentales propuestos, la medida de la dureza es el que suele obtener mejores correlaciones al análisis sensorial.

Según Smith (2001), la ternura de la carne la determinan cinco diferencias estructurales e histológicas: la cantidad de tejido conectivo; el grado de complejidad del colágeno, proteína mayoritaria constituyente del tejido conectivo por el cruce de sus enlaces químicos; la longitud de los sarcómeros, unidad de la fibra muscular que en todo su conjunto permite la contracción y relajación de los músculos; el tamaño y los depósitos de grasa intramuscular y la actividad de enzimas proteolíticas endógenas.

En lo que al tejido muscular se refiere, cabe decir que está formado por células musculares - también llamadas fibras musculares-, las cuales, están dotadas de estructuras contráctiles, denominadas miofibrillas, que son las responsables de la contracción y relajación del músculo en cuestión. A su vez, la miofibrilla está formada por proteínas miofibrilares (actina, miosina, actinina, tropomiosina, tinina, desmina y troponina T, entre otras) que intervienen en la formación de la unidad funcional mínima del músculo, conocida como sarcómero (figura 2). Estas proteínas son de gran importancia ya que en función del grado de desnaturalización y degradación proteolítica al que se vean sometidas por parte de las proteasas endógenas (calpaína y catepsina) durante el proceso de transformación del músculo en carne van a determinar, en gran medida, la dureza de la carne y, por tanto, su textura (Aberle et al., 2001b).

El tejido conjuntivo, que envuelve y protege cada músculo esquelético de los vertebrados, se diferencia en tres clases distintas en función de la parte del tejido muscular que proteja. De esta forma, al tejido conjuntivo que recubre cada fibra muscular, separándolas unas de otras, se denomina endomisio. Estas fibras se agrupan en fascículos, que a su vez se agrupan en grupos

de fascículos rodeados por otra capa de tejido conjuntivo llamado perimio. Por último, todo el músculo está envuelto por el epimio. De entre estos tres tipos, el perimio es el principal responsable de la dureza de la carne, ya que este tejido se encarga de la transmisión de fuerzas durante el movimiento muscular. De este modo, el contenido y estado químico del colágeno, proteína mayoritaria de este tejido, van a determinar la dureza de la carne. La cuantía de esta proteína varía con el tipo de músculo, localización anatómica, etc., de modo que su proporción oscila entre el 0,2 al 2% del peso del músculo (Ventanas y Timón, 2001).

En cuanto a la grasa intramuscular, ésta se considera un atributo determinante de la jugosidad de la carne y está relacionada con el grado de ternura percibido por el consumidor. Por esta razón, hoy en día la industria valora en gran medida esta característica en el momento de clasificar las canales en función de su calidad. Sin embargo, existen autores que cuestionan la importancia del grado de engrasamiento intramuscular, pues las revisiones clásicas de la literatura (Preston y Willis, 1975; Dikeman, 1987) indican que tan sólo entre un 5 y un 10% de la variabilidad en la palatabilidad de la carne se puede atribuir a la grasa intramuscular. No obstante, su influencia en la textura de este producto es incuestionable y por ese motivo también será un elemento a tener en cuenta en la presente revisión.

2.2.1.4.1. Factores antemortem que influyen en la textura de la carne

2.2.1.4.1.1. Raza

La carne de vacuno puede diferir, en lo que a la textura se refiere, dependiendo del genotipo del animal (Hocquette et al., 2005). En este sentido, Whipple et al. (1990) y Roncalés (2001) encontraron que la carne de las razas pertenecientes al tronco *Bos indicus* es menos tierna que la carne de animales descendientes del tronco *Bos taurus*, lo que puede ser debido, según estos autores, a una reducida proteólisis de las proteínas miofibrilares asociada con una actividad más alta de la calpastatina, inhibidor de la proteasa dependiente de calcio (calpaína), en los músculos de los primeros animales. Todo ello derivaría en una menor capacidad de mejorar la ternura de la carne durante la maduración. Por otro lado, Wheeler et al. (1994) encontraron que los animales *Bos indicus* presentaban niveles inferiores de grasa intramuscular que los animales *Bos taurus*. Además, la fuerza obtenida con la sonda de corte de Warner-Bratzler disminuía a medida que la infiltración de grasa intramuscular aumentaba, por lo que concluyeron que la menor proporción de este constituyente en la carne de los animales *Bos indicus* era una de las razones de la dureza de su carne.

Por otra parte, Failla et al. (2004) indicaron que la carne de razas rústicas, concretamente de las razas españolas Asturiana de la Montaña y Avileña, era más dura que la de razas con elevada aptitud cárnica como la Piamontesa. Estos resultados concuerdan con los expuestos por Smith (2001), quien afirmó que el ganado vacuno criado y seleccionado durante siglos para la tracción tiene más tejido conectivo y colágeno con mayor grado de cruzamiento de enlaces que el ganado que ha sido criado y seleccionado para producir carne. Por su parte, Vieira et al. (2002) en un trabajo realizado con añejos de dos razas españolas, Morucha (rústica) y Morucha x Charolés (cruce mejorado de aptitud cárnica), encontraron que la carne de vacuno proveniente de razas rústicas necesita un periodo de maduración más largo para alcanzar el mismo grado de ternura que la carne proveniente del cruce de raza rústica y aptitud cárnica (14 vs. 10 días).

Además, cabe destacar que, en general, el contenido de colágeno es superior en los animales de aptitud láctea que en los de aptitud cárnica, lo que explica la mayor dureza de los primeros (Beriain y Lizaso, 1998). Así, por ejemplo, en un estudio descrito por Hocquette et al. (2005), las

razas de vacuno Rubia de Aquitania y Limusín presentaban contenidos más bajos de colágeno y menores valores de compresión y fuerza de corte en carne cruda y cocinada, respectivamente, que la raza lechera Frisona y la raza de doble aptitud Parda Alpina. Sañudo et al. (2004), por su parte, observaron en animales de edades similares (machos enteros añojos) que el músculo longissimus thoracis de razas rústicas y de doble aptitud presentó una mayor dureza a tiempos cortos de maduración (7 días) que en las razas de aptitud cárnica.

Sin embargo, Monsón et al. (2004) en un experimento realizado con carne de vacuno madurada durante diferentes periodos de tiempo (1, 3, 7, 14, 21 y 35 días), procedente de machos de 7 meses y de diferentes razas (Holstein, Parda Alpina, Limusín y Rubia de Aquitania), observaron que las diferencias de textura entre razas y animales dentro de la misma raza disminuyen con el tiempo de maduración.

2.2.1.4.1.2. Edad-peso

Según Beriaín y Lizaso (1998), el número de fibras rojas aumenta con la edad del animal. Esto explicaría, en parte, la necesidad de un periodo de maduración de la carne más largo a medida que va aumentando la edad del animal, ya que las fibras rojas experimentan una maduración más lenta que las fibras blancas debido a que, en estas últimas, se produce la degradación proteolítica de actinina, tropomiosina y otras proteínas en un periodo más corto.

Por otra parte, la mayoría de los investigadores afirman que, a medida que el animal va creciendo, el contenido de colágeno aumenta (McCormick, 1992; Varela et al., 2001). Sin embargo, varios autores han observado que el contenido del colágeno total no aumenta con la edad del animal, e incluso puede llegar a disminuir ligeramente (Monin y Ouali, 1991; Dransfield, 1999). No obstante, en lo que sí están de acuerdo todos los autores es que a medida que avanza la edad del animal, se producen cambios estructurales en el colágeno del tejido conjuntivo. Así, las fibras del colágeno establecen enlaces cruzados entre ellas (puentes de hidrógeno) dando lugar a estructuras más duras a la masticación y con una estabilidad térmica superior. Este aumento de la fracción del colágeno reticulado que se conoce con el nombre de "colágeno insoluble" es, precisamente, lo que determina que la carne de los animales de abasto sea más dura con la edad (Ventanas y Timón, 2001). Sin embargo, este hecho no es nuevo, ya que Sinex en 1968 afirmó que la estabilidad mecánica de las fibras de colágeno se incrementa, marcadamente, a medida que aumenta la edad cronológica del animal. Por el contrario, en animales más jóvenes en los que la cantidad de enlaces covalentes es menor, la proporción de colágeno soluble al calor es más alta. Horgan et al. (1991) y Cross et al. (1984) han encontrado resultados similares en ovino y vacuno, respectivamente. Además, Kopp (1971) manifestó que la solubilidad del colágeno es máxima en carne de vacuno, alrededor de los 13 meses de edad del animal.

Por otra parte, Sañudo et al. (2004) en un experimento llevado a cabo en ganado bovino, concretamente con machos enteros añojos clasificados en dos categorías según el peso vivo (peso ligero: 300kg, peso pesado: 550kg), observaron que el peso vivo del animal no influye significativamente sobre el contenido del colágeno total e insoluble de la carne. Sin embargo, estos autores encontraron una ligera tendencia a la disminución de la solubilidad del colágeno al aumentar el peso de los animales. Moss et al. (2005) observaron en machos de raza Frisona de la misma edad, sacrificados a pesos vivos comprendidos entre los 300-550 kg, que la relación entre la terneza de la carne (concretamente del músculo longissimus thoracis) y el peso vivo de un bóvido es de naturaleza asintótica, por lo que, según estos autores, se podría obtener carne

de una calidad aceptable a pesos al sacrificio relativamente bajos, siempre y cuando no tenga lugar el fenómeno conocido como acortamiento por frío.

No obstante, este efecto negativo del colágeno sobre la textura de la carne en los animales de mayor edad y peso puede ser atenuado, en parte, por la cantidad de grasa intramuscular más elevada que éstos presentan. En este sentido, la grasa intramuscular impide la asociación entre los haces de fibras de colágeno, facilitando por tanto la disgregación de los fragmentos (Capillo y de Arcos, 2001).

2.2.1.4.1.3. Sexo

Existen trabajos en carne de vacuno en los que se ha apreciado que la dureza del músculo longissimus thoracis es menor en machos castrados que en enteros, posiblemente debido a una mayor cantidad de grasa infiltrada en la carne de los primeros (Dikeman et al., 1986; Wulf et al., 1997). No obstante, Morgan et al. (1993) asocian este efecto a una mayor actividad de la calpastatina a las 24 horas post mórtem en la carne de los machos enteros, lo que impide la degradación de gran parte de la estructura miofibrilar.

Por el contrario, Varela et al. (2003) en un estudio llevado a cabo con ganado bovino de la raza Rubia Gallega sacrificado con 24 meses, pusieron de manifiesto que no existe una influencia significativa del sexo (machos enteros vs. castrados) sobre la terneza del músculo longissimus thoracis, ni a las 24 horas post mórtem ni a los 7 días tras el sacrificio.

Por otra parte, existen trabajos en los que se ha estudiado el efecto de la castración sobre el colágeno, ya que esta proteína juega un papel importante en la textura de la carne (Ventanas y Timón, 2001). De esta forma, Bocard et al. (1979) y Dikeman et al. (1986) observaron un contenido más bajo de hidroxiprolina -aminoácido mayoritario del colágeno a través del cual se determina indirectamente dicha proteína- en los machos castrados, hecho que fue atribuido a una falta de efectos anabólicos de la testosterona sobre la síntesis de colágeno. Según Cross et al. (1984), la mayor concentración de colágeno, junto con una mayor complejidad del mismo, son las principales causas de la mayor dureza de la carne de los machos enteros con respecto a los castrados. No obstante, McCormick (1992) manifestaron que la fracción del colágeno intramuscular que es soluble es, generalmente, la misma o más alta en machos enteros que en castrados, posiblemente debido a una síntesis más elevada de colágeno de nueva formación (soluble, sin enlaces cruzados) que tiene lugar en los machos enteros debido a la mayor concentración de testosterona.

Además, varios autores han observado que la edad de castración afecta al contenido de colágeno en la carne, siendo éste más elevado en machos castrados a una edad avanzada que en machos castrados a una edad temprana, debido a que los efectos anabólicos de la testosterona sobre la síntesis de colágeno en estos últimos no ha tenido lugar (Dikeman et al., 1986; Destefanis et al., 2003). Cabe destacar que aunque estos últimos autores observaron un contenido más bajo de colágeno en los animales castrados a una edad temprana, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

2.2.1.4.1.4. Alimentación

En lo que a la alimentación se refiere, en general, dietas con altos porcentajes de proteína disminuyen la deposición de grasa en los animales por lo que la carne obtenida a partir de ellos es percibida por el consumidor como una carne más dura. Como es lógico, sucede lo contrario

con la carne obtenida a partir de animales alimentados con dietas energéticas, los cuales presentan un mayor engrasamiento de la canal y de la carne (Huerta-Leidenz et al., 1997; Beriaín y Lizaso, 1998). Por otra parte, dentro de ciertos límites de aporte de proteína, con la administración de dietas altas en energía, la síntesis de proteína aumenta y, por ende, se eleva la proporción de fibras de colágeno recién sintetizadas (colágeno soluble), que son más fáciles de gelatinizar con el calor de la cocción, y la carne se hace más fácil de masticar, con lo que resulta más tierna (Aberle et al., 2001b).

2.2.1.4.1.5. Estrés

El estrés que puede generar en los animales el transporte hasta el matadero ejerce un efecto sobre la calidad de la carne en general, y sobre la textura, en particular (Grandin, 2000; Warriss, 2004a). En este sentido, Dransfield (1981) observó que las carnes de vacuno catalogadas como DFD eran consideradas por los miembros de un panel de cata formado por consumidores, ligeramente más tiernas que las carnes con un pH normal. Del mismo modo, Jeremiah et al. (1991) encontraron que las carnes con un color muy oscuro (posibles carnes DFD) eran más tiernas que las carnes con un color normal. Katsaras y Peetz (1990) explicaron este hecho en virtud de las diferencias en la actividad de las calpaínas a distinto pH. Así, estos autores observaron una mayor fragmentación de las miofibrillas en las carnes DFD, por tanto más tiernas que las que mostraron un pH normal, debido a que las calpaínas muestran una actividad óptima a valores de pH neutros.

No obstante, Viljoen et al. (2002) y Wulf et al. (2002) observaron que las carnes de vacuno con un pH normal tuvieron una mayor aceptabilidad dentro de los paneles de cata que las carnes DFD, si bien, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esto puede ser debido a que en las carnes DFD, tanto la textura gomosa como la sequedad enmascaren la percepción sensorial de la ternera.

2.2.1.4.2. Factores postmortem

A lo largo del periodo de maduración tiene lugar un ablandamiento progresivo, un ligero incremento de la capacidad de retención de agua y un desarrollo de aromas característicos que mejoran las propiedades organolépticas de la carne (Beriaín y Lizaso, 1998; Campo, 1999). Es de destacar que durante la maduración no se produce ni la desunión de la actina y miosina ni ningún tipo de degradación de las mismas.

Durante la primera fase del periodo de maduración tiene lugar un ablandamiento de la carne debido a la degradación progresiva y selectiva de la estructura de las miofibrillas, a causa de la acción de enzimas proteolíticos (proteasas endógenas) existentes en el propio músculo. De esta forma, tiene lugar la degradación proteolítica de proteínas tan importantes para la estabilidad de los sarcómeros o miofibrillas como la actinina, tropomiosina, titina, desmina y degradación de la proteína reguladora troponina T. Todos estos cambios tienen como resultado la rotura de la continuidad de las miofibrillas, de modo que disminuye la resistencia estructural de las fibras al corte y aumenta la ternera percibida en la masticación.

A partir de este momento el ablandamiento de la carne es un proceso más lento en el que se produce el debilitamiento estructural del endomisio y perimisio, tejido conjuntivo que delimita, como ya se ha comentado anteriormente, las fibras y los fascículos de fibras musculares, respectivamente (Takahashi, 1996). Los mecanismos de esta segunda fase no están claros pero parece que, tras el sacrificio del animal, los proteoglicanos (carbohidratos unidos a las proteínas)

se asocian fuertemente con las fibras de colágeno del endomisio y perimisio, dando lugar a una estructura con una elevada estabilidad (Takahashi, 1996). Posteriormente los proteoglicanos unidos con las fibras de colágeno son degradados durante el periodo post mórtem, deforma que la unión entre las fibras de colágeno se debilita, provocando a su vez un debilitamiento estructural del endomisio y perimisio, respectivamente, lo que contribuye al ablandamiento de la carne. En este sentido, Nishimura et al. (1996a), observaron que los proteoglicanos en el músculo semitendinosus de bóvidos son degradados a partir del séptimo día post mórtem de forma gradual hasta los 28 días post mórtem. No obstante, el mecanismo responsable de la degradación de los proteoglicanos de la carne durante este periodo es desconocido. Sin embargo, según Takahashi (1996), existen dos posibilidades: los proteoglicanos se degradan espontáneamente bajo condiciones no fisiológicas en el músculo post mórtem, o son degradados enzimáticamente. De cualquier modo, parece razonable asumir que el debilitamiento estructural del endomisio y perimisio pueda ser producido por el ión calcio bajo condiciones no fisiológicas, como ocurre en las estructuras miofibrilares.

Takahashi (1996) en un experimento llevado a cabo con el músculo semitendinosus bovino observó que el valor de la fuerza de corte disminuía rápidamente hasta los 10 días post mórtem y después gradualmente hasta los 28 días post mórtem. Este autor manifestó que el proceso rápido de maduración observado durante los primeros 10 días se debía a la acción de las proteasas miofibrilares y que el descenso gradual después de los 10 días post mórtem parece ser debido en gran parte al debilitamiento estructural del endomisio y perimisio.

En este sentido, varios estudios han demostrado que los valores de resistencia al corte obtenidos con la sonda de Warner-Braztler en carne de vacuno, disminuían significativamente a lo largo del periodo de maduración, por lo que la terneza de la carne mejoraba considerablemente en la mayoría de los músculos (Huff y Parrish, 1993; Campo et al., 2000; María et al., 2003; Oliván et al., 2003; Sañudo et al., 2004). Del mismo modo estos autores también indicaron que el ablandamiento de la carne fue progresivo, pero especialmente importante al inicio del proceso de maduración. Estos resultados coinciden con los descritos por Accioli et al. (1995), quienes encontraron que los valores de dureza obtenidos con la sonda de Warner-Braztler disminuían significativamente entre el 9º y 16º días de maduración pero que, sin embargo, apenas experimentaron cambios entre los días 16º y 23º.

2.2.1.5. Contenido en grasa del músculo y perfil lipídico

El contenido en grasa de la carne ha sido altamente relacionado con la calidad, porque afecta tanto al flavor como a la jugosidad y a la dureza de la carne. Goutenfoega y Valin (1976) encontraron una clara relación entre la cantidad de lípidos de la carne y la intensidad de su flavor. Valores crecientes de veteado han sido asociados con un descenso en la palatabilidad del vacuno. Sin embargo, dependiendo de la especie de origen, los factores que afectan a la calidad varían. Por ejemplo, la jugosidad es un factor muy importante en porcino, porque la falta de jugosidad es generalmente debida a un sobrecocinado. Por tanto, el músculo de cerdo que carece de veteado es considerado de baja calidad, porque el veteado protege frente a un sobrecocinado. De todas formas, una cantidad importante de veteado es considerada de baja calidad en cerdo, debido al efecto negativo que causa en el consumidor, que la asocia a un alto contenido en grasa (Miller, 1994).

En este mismo sentido, Savell y Cross (1988) desarrollaron el concepto asociado con la “ventana de aceptabilidad” para el vacuno. Este concepto ilustra la relación entre la grasa intramuscular en la carne magra y la palatabilidad global del músculo cocinado. Cuando el contenido en grasa es

menor del 3%, la palatabilidad disminuye por debajo de un nivel aceptable. Si la grasa excede del 7,3%, el consumidor asocia este hecho a un consumo importante de grasa, relacionando este hecho con las enfermedades coronarias, o con algunas formas de cáncer, y esto afecta a la aceptabilidad del producto.

El contenido en grasa influye en la jugosidad a través de efectos directos e indirectos. La sensación de jugo liberado en la boca durante la masticación, o durante el primer mordisco, y la subsecuente estimulación de las glándulas salivares por la grasa, influye en la percepción de la jugosidad del producto (Cross, 1994). El contenido en grasa también tiene un efecto indirecto sobre la jugosidad, provocando un efecto aislante de la carne durante el cocinado. Las elevadas temperaturas utilizadas en el cocinado degradan proteínas, resultando una liberación de agua por parte de la carne. La grasa conduce el calor a una menor velocidad que el tejido magro, por tanto, disminuirá el efecto de las elevadas temperaturas sobre la degradación de proteínas y la liberación de agua. El resultado es que la carne con un mayor contenido de grasa no se cocina tan rápidamente y pierde menos cantidad de agua y de grasa durante el cocinado (Miller, 1994).

La dureza de la carne también se ve influida por el contenido de grasa. A medida que la grasa aumenta en porcentaje, la densidad global de un mordisco de carne disminuye, y por lo tanto, la carne con más grasa es más blanda. También se considera que, a medida que el contenido de grasa del músculo aumenta, la grasa intramuscular se deposita entre las fibras musculares, y aumentan los depósitos de grasa dentro de la fibra muscular. De esta forma, las fibras se encuentran rodeadas o bañadas en grasa, que se liberará durante el cocinado y la masticación, estimulando la salivación y la percepción de jugosidad y ternura, también debida al efecto de lubricación de la grasa (Kauffman y Marsh, 1994). También se piensa que a medida que la grasa del músculo aumenta, los lípidos se depositan en el espacio entre las células perivasculares dentro del perimio. Según se incrementa el depósito de grasa, la fuerza del tejido conectivo decrece, y por tanto la carne es más tierna (Miller, 1994).

El perfil de ácidos grasos de la carne de Ternera suele presentar un contenido prácticamente similar de ácidos grasos saturados (AGS) y ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) (45,5 y 46,5%), siendo menor la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados AGPI (8%). Una de sus características fundamentales es su grado de insaturación. Esta propiedad es importante, puesto que nos permite saber el impacto que tendrán las grasas sobre la salud de las personas y sobre su susceptibilidad a la oxidación. Estas cantidades son las esperadas para carnes con un nivel de grasa medio-alto (carnes de calidad) y se diferencian de carnes más magras que presentan una mayor proporción de AGPI. En las carnes grasas, se produce un aumento de triglicéridos en los adipocitos mientras que la grasa de las membranas celulares en forma de fosfolípidos (con mayor cantidad de AGPI) permanece constante. En definitiva a mayor cantidad de grasa en una carne, menor % Σ AGPI.

Además del valor nutritivo y sensorial de los ácidos grasos, no podemos olvidar que la ingesta de gran cantidad grasas saturadas podría causar problemas como incremento de la obesidad, hipercolesterolemia o la probabilidad de sufrir enfermedades cardiovasculares. Por esta razón y para establecer el impacto de las grasas ingeridas sobre la salud, se han establecido diversos índices que definen los valores adecuados de los distintos tipos de ácidos grasos en los alimentos para que no tengan un efecto perjudicial. El primer índice relaciona el contenido de total de AGPI con el de AGS (Σ AGPI/ Σ AGS) y se estima que debe poseer valores superiores a 0,45 (Warren et al. 2008). El otro índice relaciona la cantidad total de AG ω -6 con los AG ω -3 (ω -6/ ω -3) y debe ser menor de 4 unidades (OMS 2003, Simopoulos, 2004).

2.2.1.6. Calidad sensorial de la carne de vacuno

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 esta ligada principalmente a las preferencias de los consumidores. En el primer caso, la definición de la calidad dependería de los criterios de n grupo de expertos y podría considerarse relativamente constante durante un determinado periodo 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)

2.2.1.6.1. Jugosidad

La jugosidad de la carne cocinada se puede separar en dos percepciones: la primera es la impresión de humedad durante los primeros mordiscos, producida por la liberación rápida de fluidos. La segunda es debida a la liberación lenta de suero y al potencial efecto estimulador de la grasa en la producción de saliva (Jennings y col., 1978; Hönikel, 1987; Sañudo, 1992). Como esta última percepción perdura mucho más en el tiempo que la liberación inicial de fluidos, es comprensible que la mayoría de los estudios que tratan los parámetros que afectan a la jugosidad de la carne muestren la existencia de una estrecha correlación entre la jugosidad y el contenido de grasa, y no con la cantidad de fluidos surgidos por presión de la carne (Cross, 1994).

De todas formas, la jugosidad está muy relacionada (implicada directamente en la fase inicial de la masticación) con la capacidad de retención de agua. Este parámetro es de una gran importancia económica y sensorial, ya que una carne con una menor CRA implica mayores pérdidas por oreo, que pasan de un valor normal de un 2%, a un valor entre un 5 y un 7%, y también mayores pérdidas durante la conservación. También se producirán pérdidas al despiezar y filetear la carne, impidiendo su venta preembalada. En el cocinado habrá una rápida salida de jugo, agravada por una precontracción del colágeno y una desnaturalización proteica, llegando las pérdidas al 50% (Hamm, 1966).

La jugosidad de la carne cocinada de las diferentes especies y de las diferentes localizaciones anatómicas varía enormemente (Lawrie, 1966). Si, como se sugería antes, la sensación de jugosidad de la carne cocinada se relaciona más con el contenido de grasa, entonces la mayoría de los parámetros que condicionan el contenido de grasa intramuscular se verán reflejados en esta percepción de jugosidad. Así, la carne bien vetada de los animales maduros, que es más grasa,

podría ser más jugosa que la de los animales jóvenes con menor contenido de grasa intramuscular (Jennings y col., 1978; Smith y col., 1982; Sañudo, 1992).

Se admite que el ganado porcino tiene como especie una mayor sensibilidad al estrés y, por lo tanto, carnes más exudativas que los bovinos, en los que destaca, especialmente en los machos, una cierta tendencia a producir carnes DFD. El ganado ovino ocupa una posición intermedia (Brazal y Bocard, 1977). En el ganado bovino la CRA tiende a disminuir cuando el desarrollo muscular (hipertrofia) aumenta, lo que estaría claramente relacionado con lo que ocurre en ciertas estirpes selectas y muy mejoradas en porcino. En los ovinos las diferencias raciales no parecen muy marcadas, ni tampoco las sexuales. Sin embargo, la edad sí tiene un cierto efecto: en bovinos la CRA disminuye con la edad (Wisner-Pedersen, 1994), y algo parecido ocurre con el ovino, debido a la mayor velocidad de caída del pH post mortem (Hamm, 1981, 1982; Sañudo y Sierra, 1982; López, 1987; Jaime, 1988). En vacuno algunos autores encontraron diferencias entre razas (Albertí y col., 1995). Las razas con mayor ganancia media diaria presentaron menor CRA, mayor dureza y menor engrasamiento. Por otro lado, la estimulación eléctrica de las canales de cordero y su velocidad de enfriamiento fue estudiada, entre otros, por Rashid y col. (1983), y no encontraron diferencias significativas en la capacidad de retención de agua. Un aumento del acortamiento del músculo implicaría una disminución en la CRA (Hönikel y col., 1986).

La jugosidad y la dureza están íntimamente relacionadas; a menor dureza, más rápidamente se liberan los jugos al masticar y aparece más jugo. Para carnes duras, sin embargo, la jugosidad es mayor y más uniforme si la liberación de jugo y de grasa es lenta. Quizá el parámetro más importante que influye sobre la jugosidad de la carne cocinada es el proceso mismo de cocinado (Price y Schweigert, 1994). La pérdida de jugo es función casi lineal de la temperatura entre 30 y 80°C, y puede llegar a valores del orden del 40% del peso inicial. Está ligada a la desnaturalización térmica de las proteínas miofibrilares, con una retracción transversal de las fibras, lo que provoca un aumento del espacio interfibrilar y una migración del agua a esta zona, la cual tiende a ser expulsada a temperaturas superiores a los 60°C (Hamm, 1986). En general, los tratamientos que producen la mayor retención de fluidos y de grasa originan las carnes más jugosas. Por esta razón, la jugosidad varía inversamente con las pérdidas por cocinado. Las carnes de cerdo, ternera y cordero, que habitualmente se cocinan más intensamente, son menos jugosas que la de vacuno (Lawrie, 1966). Una temperatura baja al asar en horno produce menos pérdidas por cocinado y una carne más jugosa (Cross y col., 1979; Carlin y Harrison, 1978). La mayoría de autores señalan pérdidas superiores en la carne sometida a un cocinado lento (Pospiech y Hönikel, 1991), mientras otros tienen una opinión opuesta (Appel y Löfqvist, 1978; Choun y col., 1986). Existe otra postura que señala que el grado de cocinado no afecta a la CRA del tejido muscular. Sin embargo, hay que tener en cuenta no sólo el tiempo de cocción, sino también el tipo de cocinado, en función de la temperatura, de la presencia de agua, del calor directo, del tamaño, del grosor y de la preparación previa de la pieza (Sierra, 1977).

2.2.1.6.2. 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 empezaría 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).

2.2.1.6.3. Color de la carne

El color se define como la sensación resultante de estimular la retina por las ondas luminosas comprendidas en la región visible del espectro. Otros atributos relacionados con el color son el tono y la saturación de un color, y la luminosidad. El tono es la propiedad de color definida por el estado químico del pigmento. La saturación se refiere a la cantidad de mioglobina presente, y la luminosidad es función del estado físico de la superficie de la carne, y se define como el grado de luminosidad de un color con relación a un gris neutro en una escala que se extiende del negro absoluto al blanco absoluto (Brazal, 1975; Warris y col., 1990; Anónimo, 1996).

La apariencia física de la carne es la principal característica en que se basa el consumidor al hacer su elección inicial (Clydesdale, 1991; Krammer, 1994). Considerando los factores que comprenden el aspecto físico, los investigadores están de acuerdo en otorgar al color de la carne uno de los papeles más relevantes. Adams y Huffman (1972) indicaron que el consumidor relaciona el color de la carne con su frescura. El consumidor ha aprendido a través de la experiencia que el color de la carne fresca de vacuno es rojo brillante y considera inaceptable cualquier desviación (Urbain, 1952; Beriain y Lizaso, 1997). Cuando la metamioglobina, de color marrón-pardo, supone más del 20% del pigmento total en superficie, dos de cada tres compradores no adquieren la carne (Hood y Riordan, 1973).

En los países Mediterráneos, como España, un color pálido es asociado con carne de animales jóvenes, la cual es preferida por el consumidor, teniendo una gran influencia sobre el precio de venta (Colomer-Rocher, 1978; Fernández, 1991). Por otra parte, existen otros países en los que la carne más oscura es más fácilmente aceptada (Caballero y col., 1995; Albertí y col., 1995). De todas formas, generalmente el consumidor pide carnes cada vez más blancas y con menos grasa, lo que significa que no está bien informado ya que el color no tiene ninguna implicación en cuanto al valor nutritivo. Se conocen muchos factores que influyen en el color de la carne. Entre ellos hay factores biológicos como el tipo de músculo (Monin, 1989), la raza (Boccard y col., 1980; Renner, 1984; Boccard y Bordes, 1986) y la edad (Sierra, 1974); factores bioquímicos como la tasa de consumo de oxígeno, la autooxidación de la mioglobina, o la reducción enzimática de la metamioglobina (Lawrie, 1983; Ledward, 1984) y factores extrínsecos como el sistema de alimentación (Rodhes, 1971; Sañudo y col., 1989; Lapière y col., 1990), o el uso de estimuladores del crecimiento (Beermann y col., 1985). Por último, también se consideran

factores físico-químicos como el pH (Faustman y col.,1990), la temperatura (Renerre, 1987), la estimulación eléctrica de las canales (Moore y Young, 1991; Powell, 1991), el almacenamiento (Moore, 1990), etc. El principal factor que conduce a la decoloración de la carne es la acumulación de metamioglobina durante su almacenamiento. El envasado en atmósferas modificadas (con dióxido de carbono o nitrógeno, por ejemplo) puede solucionar este problema, pero reduce el tiempo de conservación respecto del vacío (Miller, 1994).

Respecto del sexo, aunque las diferencias no son importantes (Mohan Raj y col., 1992), se puede decir que las hembras tienen las carnes más oscuras (mayor cantidad de pigmentos) que los machos (Renerre, 1986). También se ha observado un aumento del contenido en pigmento con la edad (Renerre, 1982; Powell, 1991), relacionado con el aumento de la infiltración de grasa intramuscular, lo que crearía mayores dificultades de oxigenación, y un color más oscuro (Renerre y Valin, 1979). Aunque otros autores han observado que la estabilidad del color tiende a disminuir con la edad (Urbain, 1952; Renerre y Valin, 1979; Renerre, 1982; Sañudo, 1993; Renerre y col., 1996). También cabe destacar que la influencia de la edad es más o menos marcada según los músculos; por ejemplo, el lomo es precoz en la formación de su mioglobina (Swatland, 1991).

El color de la carne también está influido por la capacidad de retención de agua, porque cuando tiene agua ligada absorbe más radiaciones, dando una impresión de carne mucho más oscura. Por el contrario, cuando el agua en la carne está libre, la superficie aparece húmeda y refleja mayor proporción de radiación, dando una apariencia mucho más clara (Carballo y López de Torre, 1991). Otros pigmentos de la carne, como los citocromos, la catalasa y las flavinas, influyen en el color de la carne, pero con menor importancia (Miller, 1994). La temperatura de almacenamiento afecta al color del músculo debido a su efecto sobre la velocidad de las reacciones químicas y a su influencia sobre el crecimiento microbiano (Cross y col., 1986). Cuando la carne o la grasa empiezan a decolorarse, es un indicativo de que se está llegando al final de la vida útil del producto y, por tanto, que la calidad de la carne se está deteriorando (Miller, 1994).

2.2.1.7. Procesos tecnológicos que influyen en la calidad de la carne

No solamente parámetros que tienen influencia en la vida del animal ejercen influencia significativa en la calidad y composición de la carne. Se ha demostrado recientemente que la calidad puede verse modificada, a veces en gran medida, al aplicar diversos tratamientos post mortem como enfriamiento, maduraciones, congelación...

2.2.1.7.1. Enfriamiento

La velocidad y la temperatura de enfriamiento de la canal en las primeras horas tras la muerte tienen una gran influencia sobre la longitud y, por tanto, sobre la dureza de los músculos. Las bajas temperaturas post mortem pueden causar un acortamiento excesivo del músculo, dando lugar al problema denominado "acortamiento por el frío". No se observa un descenso apreciable de la terneza con acortamientos de un 20% que, sin embargo, desciende hasta un mínimo, para acortamientos entre un 35 y un 40% (Locker y Hagyard, 1963). Curiosamente, músculos con un 60% de acortamiento son casi tan tiernos como aquellos que no han sufrido este proceso (Greaser, 1986). Se ha visto que los mayores acortamientos se producen a bajas temperaturas (<5°C) y que se incrementan después de alcanzar 35°C aproximadamente (Locker y Hagyard, 1963). Parece ser que la causa de este proceso está relacionada con la imposibilidad del retículo sarcoplásmico para secuestrar y ligar el exceso de iones calcio liberados por el retículo

sarcoplásmico y las mitocondrias, bajo la influencia de las bajas temperaturas y el descenso del pH en el músculo en pre rigor (Kanda y col., 1977).

Este problema es serio en vacuno y cordero, pero carece de significación en el cerdo (Cassens, 1971; Marsh y col., 1972), que tiene mayor proporción de fibras blancas en sus músculos. Estas fibras blancas contienen menos mitocondrias y tienen más desarrollado el retículo sarcoplásmico, lo que parece contribuir a la resistencia de las fibras blancas al acortamiento por el frío (Cassens, 1971).

Si se mantienen las canales a 37°C durante las primeras 2-4 horas post mortem, se incrementa la terneza (Roschen y col., 1950; Marsh y col., 1980). En ese mismo sentido, Marsh y col. (1968) observaron que, manteniendo la carne en pre rigor a unos 16°C hasta el comienzo del rigor mortis, se evitaba el acortamiento por frío y el consiguiente endurecimiento de la carne. Pero el método más utilizado para prevenir este fenómeno es la estimulación eléctrica de las canales, puesto que utilizar estas temperaturas tan altas durante la maduración de la carne puede favorecer el crecimiento microbiano más que las bajas temperaturas (Pearson, 1986).

2.2.1.7.2. Maduración

Los procesos metabólicos, aún en desarrollo en el músculo después de la muerte, pueden considerarse concluidos con la aparición de la rigidez cadavérica. La carne lista para el consumo se obtiene después de un cierto tiempo de almacenamiento en refrigeración (0-5°C), tras el cual la carne resulta más tierna y jugosa (Carballo y López de Torre, 1991). Para una maduración correcta es importante que exista una adecuada acidificación de la carne (pH de 5,4 a 5,8). Valores finales de pH elevados pueden conducir a una alteración bacteriana. Durante la maduración se produce un ligero aumento del pH, aunque no debe superar el valor de 6,0 para evitar el riesgo de alteración microbiana, que aumenta con los días de maduración. Los mayores problemas de esta práctica consisten en el espacio de refrigeración requerido y en la apreciable pérdida de peso que tiene lugar a menudo (Pearson, 1986).

Se acepta, generalmente, que existe una proteólisis del tejido conectivo y de las fibras musculares durante la maduración debido a la presencia de proteinasas endógenas del músculo (Whitaker, 1959; Bird y col., 1980). También la proliferación microbiana puede contribuir con enzimas exógenas a la hidrólisis de diferentes proteínas de la carne. Mediante microscopía electrónica de transmisión se ha observado una evidente ruptura de la línea Z en la carne madurada (Tarrant y col., 1971; Abbott y col., 1977). Sin embargo, ha sido difícil probar algún otro cambio químico de importancia durante la maduración (Whitaker, 1959; Bodwell y Pearson, 1964). Se piensa que estas enzimas juegan un papel fundamental; sin embargo, el grado de proteólisis ha sido menor del que cabría esperar por el incremento de terneza observado, pero incluso menores cambios en la estructura de las proteínas pueden causar mayores alteraciones en sus propiedades físicas (Whitaker, 1959).

Algunos autores han discutido la estructura y función del colágeno y su comportamiento durante la maduración. Sugieren que la cantidad de enlaces inter- e intramoleculares pueden alterar las propiedades del músculo, especialmente la terneza. Se sabe que ciertas enzimas hidrolizan el colágeno y podrían jugar un papel importante alterando las propiedades del tejido conectivo durante la maduración (Bodwell y McClain, 1971). Las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas experimentan un diferente grado de transformación durante la maduración. La actomiosina, que se encuentra en estado no disociado durante la rigidez cadavérica, es en cierta medida liberada dentro de la estructura miofibrilar, a no ser que se presente el acortamiento por el frío. En esta

fase se extrae, junto con la actomiosina, la actina, la tropomiosina y la troponina (Dayton y col., 1976). Esta extracción de las proteínas miofibrilares está también condicionada por el pH final y por la temperatura. Cuanto más elevado sea el valor del pH final y menor sea la temperatura (no superior a -15°C), mayor será la posibilidad de extracción de las proteínas miofibrilares y viceversa. La terneza de la carne está correlacionada con la facilidad de extracción de las proteínas miofibrilares. Se considera que en el ablandamiento de la carne interviene también la posibilidad de que la red del retículo sarcoplasmático pueda perder su integridad en torno a las miofibrillas individuales (Price y Schweigert, 1994).

Entre los hechos que caracterizan la maduración de la carne cabe destacar el desarrollo del aroma y también la modificación del color. Durante este periodo se deseca la superficie de la carne, aumentando la concentración de sales y favoreciéndose la formación de metamioglobina (Lawrie, 1966). Según algunos autores (Chasco y col., 1995), la maduración aumenta el valor de a^* (índice de rojo) provocando que la carne posea un color más rojo y más intenso. Los procesos post mortem acontecidos hasta la instauración de la rigidez cadavérica conducen a la degradación de ATP hasta la formación de inosín-monofosfato (IMP), que al degradarse da lugar a ribosa, fosfato e hipoxantina. A esta última molécula se le atribuye un efecto favorable sobre las características sensoriales de la carne (Prändl y col., 1994). También se producen compuestos que contribuyen al aroma de la carne madurada por degradación de proteínas y grasas (Touraille y Girard, 1985).

2.2.1.7.3. Congelación

La congelación en sí misma no representa un efecto deletéreo en la calidad de la carne post rigor, y la velocidad de congelación tiene un efecto inapreciable en este tipo de carne. Sólo si la carne se congela rápidamente antes de que el rigor mortis haya sido completado, los músculos se pueden acortar muy apreciablemente si la descongelación se lleva a cabo de manera rápida (Forrest y col., 1975) y, además, puede acompañarse de considerables pérdidas por goteo (Marsh y Thompson, 1958). Este proceso llamado “rigor de la descongelación” o “thaw rigor” puede prevenirse fácilmente postergando la operación de congelado hasta que se complete el proceso de rigor mortis, o por medio de una estimulación eléctrica de la canal que acelera su consecución y permite congelar la carne en fase pre rigor sin problemas posteriores (Davey y Gilbert, 1973). Locker y col. (1975) han señalado que los efectos de este fenómeno indeseable pueden ser minimizados descongelando lentamente la carne. Además indican que la glicolisis continúa durante la congelación, y que un periodo suficiente de almacenamiento en congelación puede prevenir el rigor por descongelación. Otra alternativa posible es el empleo de enzimas proteolíticas exógenas como, por ejemplo, la papaína, que pueden inyectarse al animal antes del sacrificio para mejorar la terneza (Carballo y López de Torre, 1991).

Este fenómeno parece estar producido por un excesivo flujo de sales en la descongelación, que conduce a una liberación de cantidades excesivas de calcio, de manera que el retículo sarcoplasmático se satura (Bendall, 1961). El exceso de iones calcio se mueve a los espacios intracelulares, causando una contracción excesiva. El inicio del rigor de la descongelación se produce cuando la cantidad de ATP es relativamente alta, de aproximadamente un 40% (Newbold, 1966). La carne que ha sido congelada en estado pre rigor y que se descongela muy rápidamente sufre menos rigor por descongelación que la que se descongela más lentamente. Aparentemente, la descongelación rápida minimiza el flujo de sales dentro de los espacios intercelulares y, por tanto, causa menor acortamiento (Pearson, 1986). Cuando se descongela una carne que ha sido congelada en pre rigor, atraviesa una etapa en la que las miofibrillas son capaces de contraerse, mientras que el retículo sarcoplasmático (dañado por los cristales de hielo

en la congelación) es incapaz de parar la contracción. Si se alcanza una temperatura elevada después de la descongelación, y todavía persiste una cantidad suficiente de ATP, el retículo sarcoplásmico puede reanudar su función normal y puede producirse una relajación muscular (Bendall, 1973).

Durante el almacenamiento prolongado en congelación puede producirse una pérdida de calidad. La desecación superficial o “quemadura por el frío” se origina por un envasado inadecuado, sin vacío, y se acelera por temperaturas de congelación altas o fluctuantes, que favorecen la sublimación en superficie de los cristales de hielo y su posterior recristalización. A menos que el oxígeno sea completamente eliminado y la temperatura se mantenga extremadamente baja (menos de -60°C), no se suprimen totalmente los cambios en el flavor por la oxidación directa de la grasa o bien por una lenta actividad lipasa (Prändl y col., 1994). Estos problemas pueden eliminarse por tratamientos térmicos que inactiven las enzimas implicadas o empleando aditivos que aumenten la estabilidad. También pueden producirse defectos en el color de la carne: pueden aparecer tonalidades violáceas en las carnes rojas, causadas por degeneraciones oxidativas, que pueden ser controladas por envasado al vacío u otro método que excluya el oxígeno (Carballo y López de Torre, 1991).

2.2.1.7.4. Método de cocinado

El cocinado de la carne es un factor de gran importancia pues influye en muchas características de su calidad. El calor altera el tejido conectivo y las proteínas miofibrilares, y de este modo puede influir significativamente en la dureza de la carne, en su jugosidad y en su sabor. Durante el cocinado se producen dos cambios fundamentales: las fibras musculares se hacen más duras por coagulación, y el tejido conectivo se hace más blando, por conversión del colágeno en gelatina (Lawrie, 1966; Davey y Gilbert 1974; Harris y Shorthose, 1988). Aunque el efecto endurecedor de las fibras y el ablandador del colágeno dependen del tiempo y de la temperatura (Dransfield, 1977), es el factor tiempo el más importante en el caso del colágeno, mientras que para las fibras lo es la temperatura. Por ejemplo, para músculos o trozos de carne que poseen sólo pequeñas cantidades de tejido conectivo (por ejemplo, el lomo) se usan métodos de cocinado que combinan calor seco y tiempos cortos para minimizar el efecto endurecedor sobre las fibras musculares (Resurreccion, 1994).

El primer proceso producido cuando se calienta la carne es la coagulación de las proteínas musculares, que comienza entre 30 y 40°C . Este proceso continúa y a los 50°C se completa la degradación de la α -actinina, que es la más lábil de todas estas proteínas. A los 55°C se vuelven insolubles las cadenas ligeras de la miosina, y a los 70 - 80°C lo hace la actina. La miosina y la troponina son las proteínas más resistentes al calor y coagulan a 80°C (Bouton y col., 1975; Stabursvik y Martens, 1980; Resurreccion, 1994). Simultáneamente a la coagulación se produce un descenso en la CRA de la carne que se produce entre 40 y 50°C y continúa hasta la temperatura final de cocinado (Hamm, 1966). La degradación del colágeno comienza alrededor de los 70°C , pero la gelatinización completa no se produce hasta alcanzar los 100°C , a menos que el calentamiento se continúe durante un prolongado periodo de tiempo (Lawrie, 1966). Machlik y Draudt (1963) encontraron en el músculo m. semitendinosus que los valores de la fuerza de cizallamiento variaban poco a temperaturas hasta 50°C , pero decrecían en muestras cocinadas a 54°C y alcanzaban un mínimo en las cocinadas a 60 - 64°C , se supone que debido a la contracción del colágeno.

El color también se ve afectado por el cocinado. A medida que progresa el calentamiento, el color de la carne se convierte en marrón, y la intensidad de este color depende de la temperatura

y de la cantidad de azúcares reductores presentes (Sharp, 1957; Pearson y col., 1962, 1966). Parte del cambio de color observado durante el calentamiento es resultado de la desnaturalización de la mioglobina y de la hemoglobina residual (Kramlich y col., 1973; Hultin, 1985). Debido al calentamiento también se produce una fusión de la grasa, que junto con los cambios en la CRA de la carne dan lugar a variaciones en propiedades sensoriales como la jugosidad (Resurreccion, 1994). El desarrollo del flavor de la carne se produce a temperaturas superiores a los 70°C (Cross y col., 1986).

Dentro de los métodos de cocinado, el calentamiento en seco se caracteriza por usar tiempos cortos y temperaturas altas, pero produce un endurecimiento excesivo y, generalmente, no se recomienda. Por su parte, los valores de pérdidas por cocinado son menores para filetes asados al horno que para los asados a la plancha (McCrae y Paul, 1974; Resurreccion, 1994). Un método muy utilizado en los últimos tiempos, el cocinado con microondas, produce mayores pérdidas por goteo que los métodos de asado convencionales (McCrae y Paul, 1974; Howat y col., 1987).

2.3. PERFIL AROMÁTICO DE LA CARNE DE VACUNO

Depende fundamentalmente de compuestos como los aminoácidos y los ácidos grasos, procedentes de la degradación de proteínas y lípidos, que además de tener una acción directa sobre el sabor de la carne, son precursores de un gran número de compuestos volátiles, algunos de ellos responsables del aroma de la misma. Asimismo, en la carne existen sustancias capaces de potenciar su sabor e incrementar así su apreciación por parte de los consumidores. De ahí el interés del estudio de estos tres grupos de sustancias.

4.1.1. Compuestos precursores del perfil aromático de la carne de vacuno

4.1.1.1. Aminoácidos libres

Los enzimas proteolíticos, fundamentalmente, calpaínas, catepsinas y aminopeptidasas, generan péptidos y aminoácidos libres (Koochmararie et al. 2002). Las propiedades de sabor de estos compuestos son bien conocidas. La serina, glicina, treonina, alanina, arginina y prolina son considerados aminoácidos de sabor dulce mientras que la histidina, cisteína, valina, metionina, triptófano, fenilalanina, isoleucina y lisina han sido descritos como amargos (Chen & Zhang 2007). El ácido glutámico y, en menor medida, el ácido aspártico favorecen el desarrollo del sabor umami en acción conjunta con los 5' nucleótidos.

Otra de las propiedades de los aminoácidos libres es su participación en diversas reacciones de formación de compuestos volátiles responsables del flavor. En este sentido, se sabe que mediante la degradación de la metionina y la cisteína se originan compuestos azufrados (Methven et al. 2007) y a partir de la de la leucina, isoleucina, serina, treonina, valina y fenilalanina se forman aldehídos de Strecker (Koutsidis et al. 2008).

Además, es destacable la cantidad de treonina que es muy superior a la obtenida por otros autores. Este aminoácido se encuentra en mayor proporción en los productos de origen animal (4,5-5%) que en los de origen vegetal (3-4%) y se considera como el factor limitante más frecuente en proteínas de bajo valor biológico (Belitz y Grosch, 1992). Además, también se ha visto que esta implicado en parte de la formación del sabor a carne (Belitz y Grosch, 1992).

Algunos de los aminoácidos minoritarios están fuertemente implicados en la formación de compuestos responsables del flavor. Un claro ejemplo lo constituyen la isoleucina, fenilalanina y valina que, debido a transaminaciones, dan lugar a aldehídos, denominados de Strecker, como el 3 metilbutanal o el feniletanal que intervendrán directamente en el aroma (Belitz y Grosch, 1992).

4.1.1.2. Nucleótidos

Son compuestos nitrogenados de bajo peso molecular implicados en el flavor. Estos compuestos están formados por la degradación del ATP (Adenosin trifosfato) que se encuentra en los músculos tras el sacrificio (Shahidi et al. 1994 y Saito et al. 2007). Estos compuestos han sido descritos como responsables del desarrollo del sabor umami, y como precursores del flavor y potenciadores del sabor (Kato et al. 1987, Kawai et al. 2002 y Vani et al. 2006).

El Umami es uno de los cinco sabores básicos que reconocen los receptores especializados de la lengua humana, además de dulce, salado, amargo y ácido. Este sabor se define como la sensación apetitosa o succulenta que se percibe en algunos alimentos como quesos, sopas o carne asada entre otros. La Inosina 5' monofosfato (IMP) es el principal responsable de las propiedades de este grupo de sustancias, aunque tiene una acción sinérgica con otros nucleótidos y con el ácido glutámico cuyos efectos también han de considerarse. (Vani et al. 2006).

El origen de la IMP se encuentra en la degradación del ATP que se encuentra en la carne, que tiene como resultado la formación de los diferentes nucleótidos. La secuencia de generación es ATP, ADP, AMP e IMP. El comportamiento de estos compuestos hace que las altas concentraciones de ADP y AMP obtenidas adquieran una gran importancia puesto que es probable que la actividad enzimática siga su curso hasta que la carne llegue a manos del consumidor, generándose mayores cantidades de IMP e indirectamente ocurra una potenciación del sabor y del aroma de la carne.

4.1.1.3. Ácidos grasos

Son compuestos lipídicos precursores del flavor. De su degradación por fenómenos oxidativos se generan compuestos volátiles implicados en el flavor de la carne (Shahidi, 2000). De hecho, se ha observado la relación entre la concentración de algunos ácidos grasos con el desarrollo del flavor en la carne de cerdo (Cameron et al. 2000) y con olores agradables e indeseables en la carne de vacuno (Romans et al. 1995).

Los AGPI tipo ω -3 y tipo ω -6 tienen gran relevancia en el flavor ya que compuestos volátiles como 1-octen-3-ol, 1 butanol, 1 pentanol, 1 hexanol, pentanal, hexanal, heptanal, octanal, heptanona y 2 pentilfurano derivan de la degradación del ácido graso C18:2 ω -6 (Frankel 1982, Grosch 1987 y Elmore et al. 2002) y otros, como 1-penten-3-ol, la 2,3 octanodiona y el 2 octeno, parecen derivar de la degradación del C18:3 ω -3 (Frankel 1982, Grosch 1987 y Elmore et al. 2002).

La composición en ácidos grasos de la carne de vacuno está influenciada mayoritariamente por el régimen alimentario, el genotipo y la edad (Orellana, Peña et al. 2009). Estudios llevados a cabo con vacuno de carne y sistemas de alimentación pusieron de manifiesto que la carne de estos animales, cuando son alimentados a pasto, tiene mayor calidad nutricional (French,

Stanton et al. 2000; Dierking, Kallenbach et al. 2010). Esto se explica porque la carne de animales criados a pasto contiene una mayor cantidad de ácidos grasos n-3 y de ácido linoleico conjugado CLA (French, Stanton et al. 2000; Garcia, Pensel et al. 2008).

Las hojas de las plantas son la fuente primaria de PUFA n-3 para rumiantes, una vez que tienen la capacidad de sintetizar de nuevo C18:3 n-3, que es el ácido graso principal en el metabolismo de elongación y desaturación de los ácidos grasos de la serie n-3 presentes en los rumiantes y que les permite la síntesis de EPA y DHA (Scollan, Hocquette et al. 2006), explicándose así los valores más elevados encontrados en animales del sistema extensivo.

Sin embargo, en los modelos intensivos de cebo de animales (rumiantes), que se basan en el consumo de dietas altamente energéticas, especialmente con maíz (*Zea mays* L.) o subproductos, se originan carnes con contenidos elevados de grasas, cuyo perfil lipídico muestra altas cantidades de ácidos grasos monoinsaturados. La elevada ingestión de energía determina una mayor desaturación, mediada por la enzima $\Delta 9$ desaturasa (Dierking, Kallenbach et al. 2010; Bressan, Rossato et al. 2011) y el ratio entre n-6 y n-3 es desequilibrado, superior a 4:1 (Dierking, Kallenbach et al. 2010).

4.1.2. 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, tazoles, 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 alimentos. 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.

4.1.3. Compuestos volátiles responsables del perfil aromático de la carne de vacuno

Son los compuestos que definirán el perfil aromático. En la carne de vacuno se han identificado numerosos compuestos que pertenecen a distintas familias químicas, en la siguiente tabla podemos encontrar los compuestos más relevantes.

Tabla 1. Compuestos volátiles que determinan el perfil aromático de la carne de vacuno.

FAMILIA	COMPUESTO
Hidrocarburos alifáticos	2-Metilpentano Hexano 3-Metilhexano Heptano 2,3,4-Trimetilpentano 2,3,3-Trimetilpentano 2,3-Dimetilhexano 2-Metilheptano 3-Metilheptano 2,2,5-Trimetilhexano 3-Metilenheptano 1-Octeno Octano 3-Octeno 3-Metil-2-Hepteno 2-Octeno Nonano 2,2,4,6,6-Pentametilheptano Decano Undecano Dodecano 1,1-Dibutoxibutano Tridecano Tetradecano Pentadecano Hexadecano Metilciclohexano 2-octanona
Hidrocarburos alicíclicos	1,3-Dimetilciclohexano Etilciclohexano Propilciclohexano
Terpenoides	Pineno Limoneno
Aldehídos alifáticos	Etanal Butanal Isobutanal 3-Metilbutanal Hexanal Heptanal

	Octanal Nonanal 2-octenal Pentanal
Cetonas alifáticas	2-Propanona 2,3-Butanodiona 2-Butanona 2-pentanona 2,3-pentanodiona 3-hidroxy-2-butanona 2-heptanona 3-octanona
Hidrocarburos aromáticos	Benceno Tolueno Etilbenceno Xileno Estireno Metilbenceno Nitrobenceno
Compuestos Azufrados	Dimetil Sulfuro Carbono Disulfuro Dimetil Disulfuro 2-tiapropano
Alcoholes	Etanol 1-Propanol 2-Metil propanol 1-butanol 1-penten-3-ol 3-metil-3-butenol 3-Metilbutanol 2-Metilbutanol 1-pentanol 2-butanol 2,3-butanodiol 1-hexanol 1-octen-3-ol 2-etil hexanol
Éteres	DibutilEter
Furanos	2-pentilfuranos

Fuente: Brewer M. Susan, Ph.D., Department of Food Science and Human Nutrition, University of Illinois. "The Chemistry of Beef Flavor" December, 2006

Diversos autores han analizado las familias químicas que agrupan los distintos compuestos, observando que la familia principal son las cetonas. Las cetonas tienen su origen en los

procesos de degradación/oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados (Cha et al. 1992) y de degradación aminoacídica (Pan y Kuo, 1994). La 2,3 butanodiona y la 2,3 pentanodiona son compuestos muy comunes en los perfiles de flavor de la carne (Chung y Cadwallader, 1994). Además, las propiedades de estos compuestos en relación con el aroma son bastante conocidas ya que aportan tonos frutales, florales y/o herbales a los alimentos (Cha et al. 1992). Las alcanodionas, como la 2,3 butanodiona y 2,3 pentanodiona tienen un papel especial ya que incorporan un intenso matiz a mantequilla muy deseable para el aroma global a carne (Hsieh et al. 1989).

Otras familias que presentan un contenido destacable son los alcoholes, los hidrocarburos y los aldehídos. El origen de los compuestos volátiles en la carne de vacuno parece ser resultado principalmente de reacciones de oxidación lipídica. Esta ruta ha sido descrita como la principal en la formación de volátiles en carne (MacLeod y Seyyedain-Ardebili, 1981). Otra vía de formación son las reacciones de Maillard (Koutsidis et al. 2008) que tienen lugar fundamentalmente con los incrementos de temperatura durante el cocinado de la carne.

En el perfil de flavor de la carne cruda de vacuno se incluyen compuestos que han sido descritos como olor-activos. Algunos se encuentran en gran cantidad, el hexanal, y otros en menor proporción como el i-limoneno. El poder aromático de estos compuestos no sólo depende de la cantidad en la que se presenten sino que además influye el umbral de detección por parte de la nariz humana. En este sentido, hay compuestos que necesitan grandes cantidades para ser percibidos mientras que otros son “detectados” aunque se encuentren a muy bajas concentraciones.

Tabla 2. 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
3-metilbutanal	Acre, dulce, carne asada, herbal, chocolate, caramelo, a nuez	1
2-heptanona	A salsa, gaseoso	4
2,3 butanodiona	Caramelo, mantecos	5
3-hidroxy-2-butanona	Mantecoso	2,3
2,3-pentanodiona	Mantecoso, dulce, frutal, caramelo, limón	5
2-pentilfurano	Herbal, a tierra, a judías verdes	3
Etanol	Dulce	2,3
Limoneno	Limón, herbal, rancio, gomoso	6

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

Los compuestos olor-activos de la carne de vacuno son en su mayoría cetonas y aldehídos, de modo que incorporan aromas grasos, mantecosos o a asado, determinados por su procedencia lipídica. Sin embargo, otros compuestos como el etanol y el ácido hexanoico o el pentilfurano y el i-limoneno, aportan aromas dulces y matices campestres, herbales o incluso a limón

respectivamente. Además, el efecto de los hidrocarburos aromáticos como el metilbenceno, el nitrobenzono y el xileno también debe destacarse ya que son compuestos que parecen potenciar el flavor del resto de los compuestos aunque individualmente no sean responsables de un olor intenso en la carne (Insausti et al. 2005).

4.1.4. Métodos de análisis de extracción e identificación de compuestos volátiles en 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 Nickerson, 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.

4.1.4.1. 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.

4.1.4.2. 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

La carne, cocinada o cruda, se pica y se introducen entre 10 y 15 g de muestra en un vial, que se purga durante 10 ó 20 min con un flujo de helio de 40 ml/min, manteniendo la muestra caliente por medio de una manta. La aplicación de un sistema criogénico a la trampa consigue disminuir su temperatura por debajo de la ambiente (hasta unos 15°C), con lo que se aumenta la eficacia en la adsorción de los compuestos, sobre todo con los compuestos más volátiles.

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.

4.1.4.3. 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).

4.1.4.4. 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.

4.1.4.5. 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).

3. OBJETIVOS



3. OBJETIVOS

En el presente trabajo se va a estudiar el perfil aromático de la carne de terneros de la Raza Pirenaica sometidos a dietas de cebo con ingredientes ricos en ácidos grasos poliinsaturados y enriquecidos con vitamina E, a dos pesos de sacrificio 403 kg y 482 kg e identificados con 3 mm EDG (espesor de grasa dorsal), y 4 mm EDG, respectivamente y tras un período de congelación de seis años.

Este estudio se ha dividido en dos partes. La primera parte, en la que se presentan los resultados de la caracterización de los compuestos volátiles de carne, y la segunda en la que se profundiza en aquellos compuestos aromáticos que resultados afectados por la alimentación, la edad de sacrificio y la congelación.

4. MATERIAL Y MÉTODOS



4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. MATERIAL

4.1.1. Material animal y alimentación

Para este estudio se utilizaron un total de 22 terneros sin castrar de raza Pirenaica. Los animales fueron destetados entre los 5 y 6 meses de edad y alimentados en las instalaciones que tiene en Zaragoza el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (C.I.T.A.).

Durante la etapa de alimentación, el grupo testigo (C; n = 6) fue alimentado con un concentrado comercial compuesto por: grano de cebada, maíz, torta de soja, fosfato bicálcico, carbonato de calcio y un concentrado de oligominerales y vitaminas equilibrado, así como paja de cereal. Toda la alimentación se administró ad libitum.

Por otra parte, al grupo lino L (n = 8) se le suministró la misma dieta que al control a la que se añadió un 5% de semillas de lino a la vez que se modificaban las proporciones de algunos de los ingredientes principales. La composición en ácidos grasos de las semillas de lino se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición en ácidos grasos de las semillas de lino (Inchbald, 2000)

Ácidos grasos	Estructura del ácido graso	% total de grasa ¹	% total de la semilla
Linolénico	18:3	58	20.3
Linoleico	18:2	14	4.9
Oleico	18:1	19	6.7
Esteárico	18:0	4	1.4
Palmítico	16:0	5	1.8

1. Representa la cantidad de ácidos grasos como un porcentaje sobre el total de grasa presente

2. Representa la cantidad de ácidos grasos como un porcentaje sobre el contenido total de la semilla

El grupo lino + vitamina E (LV; n = 8) se alimentó con una dieta similar al grupo lino suplementada con 200 UI/kg MS de vitamina E. Las tres dietas eran isocalóricas e isoproteicas y tanto los concentrados como la paja de cereal se ofrecieron ad libitum. En la Tabla 2 se muestra la composición de las tres dietas. Por otra parte, en la tabla 5 se muestran el contenido en ácidos grasos en porcentaje, en tanto por ciento respecto del total, del análisis del perfil de ácidos grasos de forma individual, así como los totales de AGS, AGM, AGP, n3, n6 y los índices AGP/AGS y n6/n3 de los tres piensos utilizados.

Tabla 2. Composición de las dietas

	Control	Lino	Lino + vit E
Cebada	22,60	23,40	23,40
Maíz	35,00	33,00	33,00
Gluten Peed	10,00	10,00	10,00
Salvado y tercerillas	4,00	4,00	4,00
H.Soja 44%	13,80	11,95	11,95
semilla de Lino	0,00	5,00	5,00
Cascarilla soja	5,00	5,00	5,00
Pulpa remolacha	4,00	4,00	4,00
Grasa vegetal	0,44	0,00	0,00
Grasa animal 50/50	2,00	0,62	0,62
Carbonato cal.	1,50	1,50	1,50
Fosfat. Bical.	0,30	0,18	0,18
Bicarbonato + NaCl	1,00	1,00	1,00
Corree. OligoMin-Vit	0,20	0,20	0,20
Rumalato	0,16	0,16	0,16
	100,0	100,0	100,0
FORMULADO			
vit E , mg/kg pienso	10mg/kg	10mg/kg	10 mg/kg
Suplemento vit E			200 mg/kg
análisis, vit E mg/kg	28,55	27,9	31,7

Tabla 3. Composición en ácidos grasos de las dietas utilizadas

	CONTROL	LINO	LINO+VITAMINA
(C12:0)Láurico	0,21	0,13	0,17
(C14:0)Mirístico	0,66	0,31	0,36
(C16:0)Palmítico	14,30	9,29	9,16
(C16:1n7)c9Palmitoleico	0,78	0,34	0,35
(C17:1)c10Hepatedenoico	0,28	0,04	0,13
(C18:0)Esteárico	4,67	2,97	2,83
(C18:1n9)c9Oleico	15,79	12,30	11,51
c9c12 C18:2n6	62,24	62,35	64,04
(C18:3n3)c9,c12,c15AlphaLinolenic	0,42	11,86	10,89
(C20:1n9)c11Eicosenoico	0,64	0,42	0,57
AGS	19,85	12,70	12,51
AGM	17,50	13,09	12,56
AGP	63,08	86,06	85,81
AGP/AGS	3,18	6,78	6,86
n6	62,24	62,35	64,04
n3	0,42	11,86	10,89
n6/n3	148,62	5,26	5,88

AGS= C12:0+C14:0+C16:0+C18:0

AGM=C16:1n7c9+C17:1c10 +C18:1n9c9+C20:1n9c11

AGP= C18:2n6c9c12+C18:3n3c9,12,15

n6=C18:2n6c9c12

n3=C18:3n3c9,12,15

Cada dos semanas, los animales eran pesados y se medía el espesor de grasa dorsal a nivel de la 4ª vértebra lumbar. Para ello se utilizó un ecógrafo Aloka SSD provisto de una sonda VST-5044-7,5Mhz/172mm a nivel de la cuarta vértebra lumbar. Para cada grupo se calculó la ganancia media diaria, índice de conversión y cantidad de comida ingerida. En la tabla 6 se muestra el peso inicial y final de los animales así como sus ratios de crecimiento durante el periodo de engorde.

Tabla 4. Pesos y rangos de crecimiento de los animales usados en el experimento (media y desviación típica) (Sayed, 2007).

	EDG 3			EDG 4		
	C	L	LV	C	L	LV
Nº de animales	3	4	4	3	4	4
Peso inicial (kg)	289±13.0	274±15.5	274±15.7	288±16.0	273±13.8	273±19.7
Edad al destete (días)	208±26.6	192±33.4	205±29.5	211±42.3	213±36.4	193±22.3
Índice de conversión (kg/kg)	6.9	6.6	6.7	6.1	6.5	6.5
GMD* (kg/d)	1.4±0.11	1.4±0.02	1.5±0.06	1.4±0.08	1.3±0.08	1.5±0.7
Peso al sacrificio (kg)	410±17.6	392±14.1	405±18.9	490±13.8	466±5.0	488±17.4
Edad al sacrificio (días)	296±29.8	280±31.9	292±27.4	355±40.2	357±33.6	336±20.1

* Ganancia Media Diaria

EGD3: Espesor de grasa dorsal = 3 mm; EGD4: Espesor de grasa dorsal = 4 mm

4.1.2. Sacrificio

Los animales fueron sacrificados con un peso medio de 403 kg y aproximadamente 3 mm de espesor de grasa dorsal (EDG) en el caso del grupo de 3 mm y al llegar a los 482 kg de peso medio y 4 mm de EDG el segundo lote, la diferencia entre los momentos de sacrificio fue de dos meses. El sacrificio se realizó en el matadero de Zaragoza (Mercazaragoza), situado a 10 Km del C.I.T.A.

Una vez realizado el sacrificio se tomaron los pesos de la canal en caliente. El espesor de grasa dorsal de la canales y su conformación se valoraron según el sistema SEUROP (Reglamentación de la EU N°1026/91). Los resultados de la valoración se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la valoración

	EGD3			EGD4		
	C	L	LV	C	L	LV
Conformación de la canal	11±0.5	10±0.5	12±0.4	12±0.1	11±0.7	11±0.8
Medida de la grasa (mm)	3±0.4	4±0.4	4±0.3	5±0.4	5±0.2	6±0.5

EGD3: Espesor de grasa dorsal = 3 mm; EGD4: Espesor de grasa dorsal = 4 mm

4.1.3. Envasado y congelación

La toma de muestras tuvo lugar 24 horas después del sacrificio. Para el análisis del contenido en ácidos grasos se tomaron muestras del músculo *longissimus dorsi* a la altura de la 7ª vértebra torácica. Tras el fileteado de las canales se envasaron al vacío las muestras tomadas, en bolsas de poliamida/polietileno que fueron termoselladas con una envasadora, con un 99 % de vacío en su interior.

Las muestras sufrieron un periodo de maduración de dos días a una temperatura de 4°C dentro de las bolsas al vacío y luego se congelaron a -20°C en un arcón congelador, para su conservación hasta el momento del análisis, que ha sido seis años después de su congelación, así podemos estudiar el efecto de la congelación en el perfil aromático de la carne de vacuno.

4.1.4. Tratamiento y preparación de las muestras

En este trabajo se han estudiado tres efectos, la alimentación, el espesor de grasa dorsal (EDG) y la congelación. Para la alimentación únicamente se tuvo que atender a la identificación crotal para poder separar los terneros que habían sido alimentados con las tres alimentaciones a estudio. Para EDG, se utilizó el mismo procedimiento de separar en los crotales, puesto que EDG se identifica con tiempo en cebo. Para el efecto de la congelación, se estudiará posteriormente comparando los resultados de los compuestos volátiles que se encontraron antes de la congelación, con los compuestos que se han encontrado en el presente estudio.

Las muestras envasadas al vacío y que se encontraban en un arcón frigorífico fueron sacadas el día inmediatamente anterior a su análisis, y se mantuvieron en un frigorífico cuya temperatura era de 4 °C. Una vez que las muestras estaban descongeladas, se procedió a la apertura del envase protector y se partieron dos muestras de cada envase, puesto que de cada muestra se hicieron dos repeticiones, se picaron en una picadora convencional, se pesaron 15 gramos y se introdujeron en un vial.

4.1.5. Consideraciones sobre las muestras a analizar y su identificación

Como ya se ha dicho anteriormente para este trabajo, se utilizaron 22 muestras de vacuno de Raza Pirenaica, de las cuales 11 tenían un tiempo en cebo final de 3 meses y 403 kg de sacrificio, y las que denominaremos a partir de ahora como muestras con 3 mm de EDG (espesor de grasa dorsal), ya que aproximadamente tenían todos los animales este EDG, y las otras 11 tenían un tiempo en cebo final de 5 meses y un peso medio al sacrificio de 482 kg, y las denominaremos como 4 mm EDG.

Para analizar los efectos de la congelación sobre el perfil aromático y los compuestos volátiles presentes antes y después de la congelación, solamente se disponen de los datos de las muestras sin congelación del grupo de muestras de 3 mm de EDG, por lo que los análisis estadísticos que se realizarán posteriormente solamente se harán con los datos de este grupo de 3 mm EDG.

4.1.2. Obtención del perfil de compuestos volátiles

4.1.1.1. 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 (15 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 acabo 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.

4.1.1.2. 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.

4.1.1.3. 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 ESTADÍSTICO

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

4.2.1. Análisis de la varianza

4.2.1.1. 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 I), en el que se tomó el siguiente modelo para estudiar los efectos alimentación y EDG (espesor de grasa dorsas, tiempo en cebo):

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + A_j + M_i \times A_j + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl}: se define como el número de observaciones (compuestos volátiles)

μ: media mínimo cuadrática

M_i: efecto fijo debido al EDG (j=1 EDG para 3 mm y j=2 EDG para 4mm)

A_j: efecto fijo debido a la alimentación (j=1, lote control; j=2, lote lino; y j=3 lote lino + vit E)

M_i x A_j: efecto fijo debido a la interacción alimentación y EDG

E_{ijkl}: efecto residual aleatorio.

Así mismo, se aplicó el test a posteriori, Tukey, cuando se detectó una interacción significativa, alimentación EDG en alguno de los parámetros estudiados. Para ello, se fija uno de los factores y se realiza un análisis de la varianza para un solo factor.

Para estudiar los efectos alimentación y congelación (espesor de grasa dorsas, tiempo en cebo):

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + A_j + M_i \times A_j + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl}: se define como el número de observaciones (compuestos volátiles)

μ: media mínimo cuadrática

M_i: efecto fijo debido a la congelación (j=1 congelación y j=2 sin congelación)

A_j: efecto fijo debido a la alimentación (j=1, lote control; j=2, lote lino; y j=3 lote lino + vit E)

M_i x A_j: efecto fijo debido a la interacción alimentación y EDG

E_{ijkl}: efecto residual aleatorio.

Así mismo, se aplicó el test a posteriori, Tukey, cuando se detectó una interacción significativa, alimentación y congelación en alguno de los parámetros estudiados. Para ello, se fija uno de los factores y se realiza un análisis de la varianza para un solo factor.

4.2.2. Análisis de correlación

Se empleó el test de correlación de Pearson, para relacionar las diferentes variables estudiadas entre sí.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. PERFIL DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN LA CARNE DE VACUNO CON DIFERENTES DIETAS A DIFERENTES TIEMPO EN CEBO O EDG

En el presente trabajo se han identificado los compuestos volátiles responsables del perfil aromático de la carne de terneros de Raza Pirenaica, y el efecto de la alimentación, congelación y EDG.

Se han identificado un total de 24 compuestos volátiles, de los cuales solamente 14 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 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 1 además de mostrar los diferentes compuestos que han aparecido y sus frecuencias en las muestras, los compuestos volátiles se encuentran clasificados por espesor de grasa dorsal (EDG) y por tipo de alimentación.

Tabla 1. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pireneica y su frecuencia de aparición

Familias y Compuestos	Frecuencia de aparición del total de compuestos					
	3 mm			4 mm		
	Testigo (6)	Lino (8)	Lino + Vit E (8)	Testigo (6)	Lino (8)	Lino + Vit E (8)
Hidrocarburos alifáticos						
2-octeno	1	0	0	3	0	0
Octeno	1	0	0	0	0	0
Octano	0	0	0	2	4	0
2,2,4,6,6-pentametilheptano	0	0	0	0	8	0
SUMA	2	0	0	5	12	0
Terpenoides						
Limoneno	0	0	1	0	0	0
SUMA	0	0	1	0	0	0
Aldehídos alifáticos						
Etanal	6	8	8	6	5	8
Hexanal	4	5	6	4	5	8
Heptanal	5	4	6	4	1	8
Octanal	5	8	8	5	8	8
Nonanal	4	8	6	3	8	8
Isobutanal	3	5	4	3	2	4
Propanal	0	0	0	1	0	0
Butanal	0	0	0	0	0	2
Benzaldehído	0	0	0	0	2	2
SUMA	27	38	38	26	31	48
Cetonas alifáticas						
2-butanona	6	8	8	5	7	8
2-propanona	6	8	8	0	0	0
2,3-butanodiona	0	1	0	0	0	0
SUMA	12	17	16	5	7	8
Compuestos azufrados						
Carbono Disulfuro	6	8	8	1	8	8
2-tiapropano (Dimetil Sulfuro)	6	8	8	5	7	8
SUMA	12	16	16	6	15	16
Alcoholes Alifáticos						
Etanol	4	7	1	5	8	8
Metanotiol	0	0	0	1	0	0
1-octen-3-ol	0	0	0	2	2	0
2-butanol				1	2	3
SUMA	4	7	1	9	12	11
Furanos						
2-pentilfurano	0	0	0	3	0	0
SUMA	0	0	0	3	0	0
	53	71	71	45	65	72

En la tabla 1 se pueden ver los 24 compuestos volátiles que fueron detectados, pertenecientes a diferentes familias, de los cuales 10 de la familia de Aldehídos Alifáticos, 4 compuestos de la familia de Hidrocarburos alifáticos, 4 de la familia Alcoholes Alifáticos, 3 de Cetonas Alifáticas, 2 de la familia Compuestos Azufrados, 1 compuesto de las familias de los Furanos y Terpenoides. En dicha tabla, la presencia total de compuestos es similar para ambos EDG (tiempo en cebo).

El estudio de la frecuencia de aparición de los compuestos se ha considerado el hacerla por familias porque facilita la comprensión de los datos obtenidos, en dicha tabla se pueden observar las siguientes tendencias:

-Hay una mayor presencia de Hidrocarburos Alifáticos en las muestras de la dieta lino con 4 mm de EDG, debido por la presencia del 2,2,4,6,6-pentametilheptano, que únicamente aparece en este tipo de dieta y para este EDG.

-Se puede apreciar la baja presencia de Terpenoides (limoneno) que sólo aparece en muestras de la dieta lino + vit E con EDG 3 mm, y no se considera relevante en este estudio.

-En comparación con el resto de familias, los Aldehídos Alifáticos tienen gran importancia en presencia de compuestos y número de los mismos, respecto al resto de familias; pudiéndose observar un aumento progresivo en el número de compuestos de esta familia, siendo menor en dieta control, aumentando en dieta lino y siendo superior en dieta lino+VitE. Además algunos compuestos como butanal, propanal, y benzaldehído solamente aparecen para EDG 4 mm, y en baja frecuencia. Los compuestos con mayor aparición en las muestras analizadas son: etanal, hexanal, heptanal, octanal y nonanal.

--Se observa claramente que la presencia de Cetonas Alifáticas es mayor para EDG 3 mm que para 4 mm, apareciendo un mayor número de compuestos para las dietas lino y lino+VitE. Los compuestos volátiles pertenecientes a esta familia que mayor presencia tienen, ya que aparecen en todas las muestras son: 2-butanona para los dos EDG y 2-propanona en EDG 3 mm.

-Los Compuestos Azufrados tienen una presencia similar para ambos estados de engrasamiento, no percibiéndose diferencias significativas tampoco en las diferentes dietas.

-La presencia de Alcoholes Alifáticos y Furanos no es muy representativa, pues aparecen en pocas muestras. Además en la familia de los Alcoholes Alifáticos, el metanol, y el 1-octen-3-ol, no aparecen en EDG 3 mm, al igual que ocurre en la familia de los Furanos, cuyo único compuesto presente, 2-pentilfuran, solamente aparece para EDG 4 mm.

Para facilitar la discusión de los resultados, el análisis de resultados se ha centrado en los compuestos que mayor importancia tienen en el estudio, para 3 y 4 mm EDG.

En las tablas 2 y 3 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 (Índice de Retención Relativo), muestra las identificaciones IR (Índice de Retención) y MS (identificación librería Wiley de los espectros de los compuestos), la media mínimo cuadrática del valor detectado de área y el porcentaje relativo de dicha área respecto a la total (PRA), para 3 y 4 mm de EDG. 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 2. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico de muestras de carne del músculo *logissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para 3 mm de EDG. (Media Áreas x 10⁴)

3 mm EDG						ÁREA			PRA %			ÁREA	PRA %
FAMILIA	COMPUESTO	TR (min)	I - DB - 5	IR	MS	CONTROL	LINO	LINO + Vit E	CONTROL	LINO	LINO + Vit E		
Aldehídos alifáticos	Etanal (1)	3,054	-	+	+	1181,63	1301,41	1517,10	9,31	8,73	11,86	4000,04	9,90
	Isobutanal (6)	5,486	544,24	+	+	60,47	42,86	35,32	0,48	0,29	0,28	138,65	0,34
	Hexanal (8)	21,509	794,33	+	+	201,93	164,06	201,32	1,59	1,10	1,57	567,31	1,40
	Heptanal (9)	25,732	892,93	+	+	142,54	120,96	150,66	1,12	0,81	1,18	414,15	1,03
	Octanal (10)	28,856	981,55	+	+	171,15	163,11	141,25	1,35	1,09	1,10	475,51	1,18
	Nonanal (11)	31,458	1090,62	+	+	189,40	203,58	143,61	1,49	1,37	1,12	536,57	1,33
Compuestos Azufrados	Carbono disulfuro (5)	4,987	528,07	+	+	173,046	294,72	131,45	1,36	1,98	1,03	599,22	1,48
	2-tiapropano (Dimetil Sulfuro) (4)	4,569	513,69	+	+	2237,78	1895,34	1549,24	17,63	12,71	12,11	5682,33	14,07
Alcoholes	Etanol (2)	3,579	-	+	+	99,43	185,71	0	0,78	1,25	0,00	285,13	0,71
Cetonas alifáticas	2-propanona (3)	4,029	-	+	+	6690,90	8114,08	6547,71	52,70	54,42	51,19	21352,68	52,86
	2-butanona (7)	6,755	588,89	+	+	1547,54	2423,71	2374,47	12,19	16,26	18,56	6345,71	15,71

Tabla 3. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico del músculo logissimus dorsi de terneros de Raza Pirenaica para 4 mm de EDG. (Media Áreas x 10⁴)

4 mm EDG							ÁREA		PRA %		ÁREA	PRA %	
FAMILIA	COMPUESTO	TR (min)	I - DB - 5	IR	MS	TESTIGO	LINO	LINO + Vit E	TESTIGO	LINO	LINO + Vit E		
Hidrocarburos alifáticos	Octano (9)	21,43	730,71		+	141,07	109,59	-	0,27	0,42	0,00	250,66	0,25
	2,2,4,6,6-pentametilheptano (12)	28,558	972,98		+	-	123,98	-	0,00	0,47	0,00	123,98	0,13
Aldehídos alifáticos	Etanal (1)	3,06	-		+	831,26	312,90	2235,42	1,57	1,19	11,63	3379,59	3,43
	Isobutanal (6)	5,487	545,27		+	1954,37	186,19	115,08	3,69	0,71	0,60	2255,65	2,29
	Hexanal (10)	21,457	793,61		+	5055,43	459,44	694,67	9,54	1,74	3,61	6209,56	6,30
	Heptanal (11)	25,695	892,03		+	316,14	531,99	351,90	0,60	2,02	1,83	1200,05	1,22
	Octanal (13)	28,836	980,98		+	222,25	364,13	325,99	0,42	1,38	1,70	912,38	0,93
	Nonanal (14)	31,446	1090,06		+	276,23	558,22	344,85	0,52	2,12	1,79	1179,30	1,20
Compuestos Azufrados	Carbono disulfuro (5)	4,989	528,14		+	48,69	218,13	122,34	0,09	0,83	0,64	389,17	0,39
	2-tiapropano (Dimetilsulfuro) (4)	4,567	513,62		+	16371,99	2589,19	2316,90	30,90	9,83	12,05	21278,09	21,59
Alcoholes	Etanol (2)	3,581	-		+	9361,33	731,78	452,19	17,67	2,78	2,35	10545,31	10,70
	2-butanol (8)	6,958	595,87		+	675,25	251,62	289,84	1,27	0,95	1,51	1216,71	1,23
Cetonas Alifáticas	2-propanona (3)	4,031	-		+	14332,81	17169,90	9197,80	27,05	65,16	47,84	40700,52	41,29
	2-butanona (7)	6,759	589,03		+	3397,43	2744,02	2778,83	6,41	10,41	14,45	8920,29	9,05

5.1.1. Caracterización de los compuestos volátiles detectados para el efecto EDG

En las tablas 4 y 5, aparecen los porcentajes correspondientes al número de compuestos por familias, según el espesor de grasa dorsal (EDG)

Tablas 4 y 5. 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 terneros de Raza Pirenaica según el EDG.

3 mm EDG		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Nº	%
Aldehídos alifáticos	6	54,55
Compuestos Azufrados	2	18,18
Alcoholes	1	9,09
Cetonas alifáticas	2	18,18
TOTAL	11	100

4 mm EDG		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Nº	%
Hidrocarburos alifáticos	2	14,29
Aldehídos alifáticos	6	42,86
Compuestos Azufrados	2	14,29
Alcoholes	2	14,29
Cetonas alifáticas	2	14,29
TOTAL	14	100

Las figuras 1 y 2 muestran gráficamente los porcentajes obtenidos de los diferentes compuestos volátiles para cada familia, para 3 y 4 mm de EDG.

Figura 1. 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 terneros de Raza Pirenaica para 3 mm de EDG.

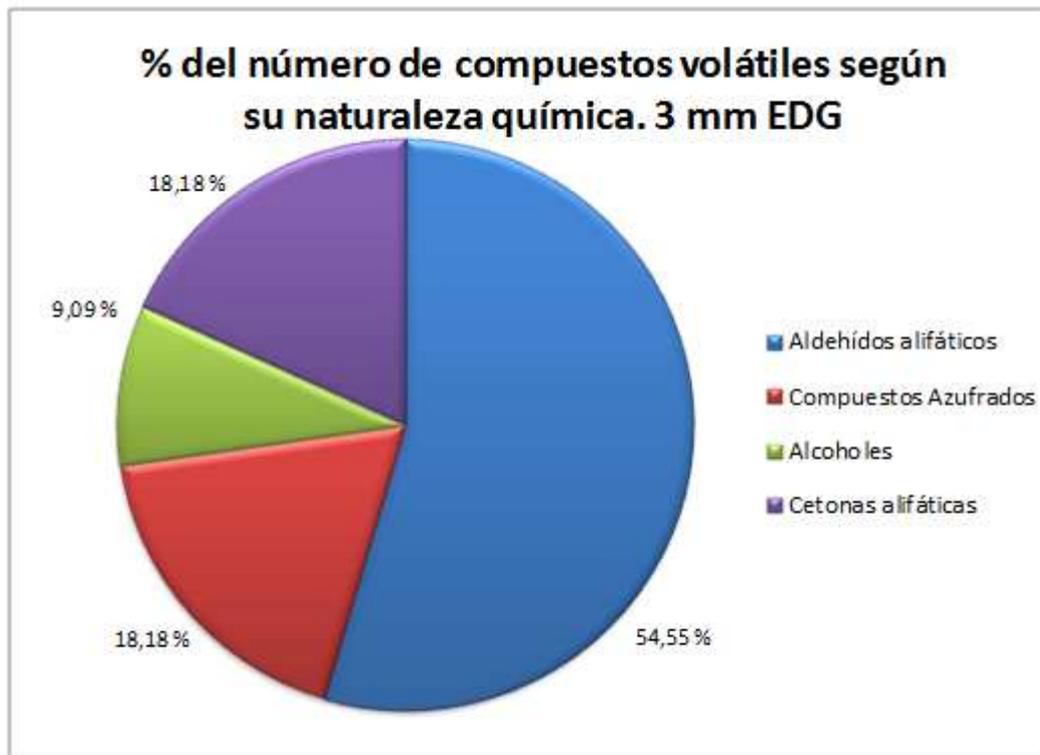
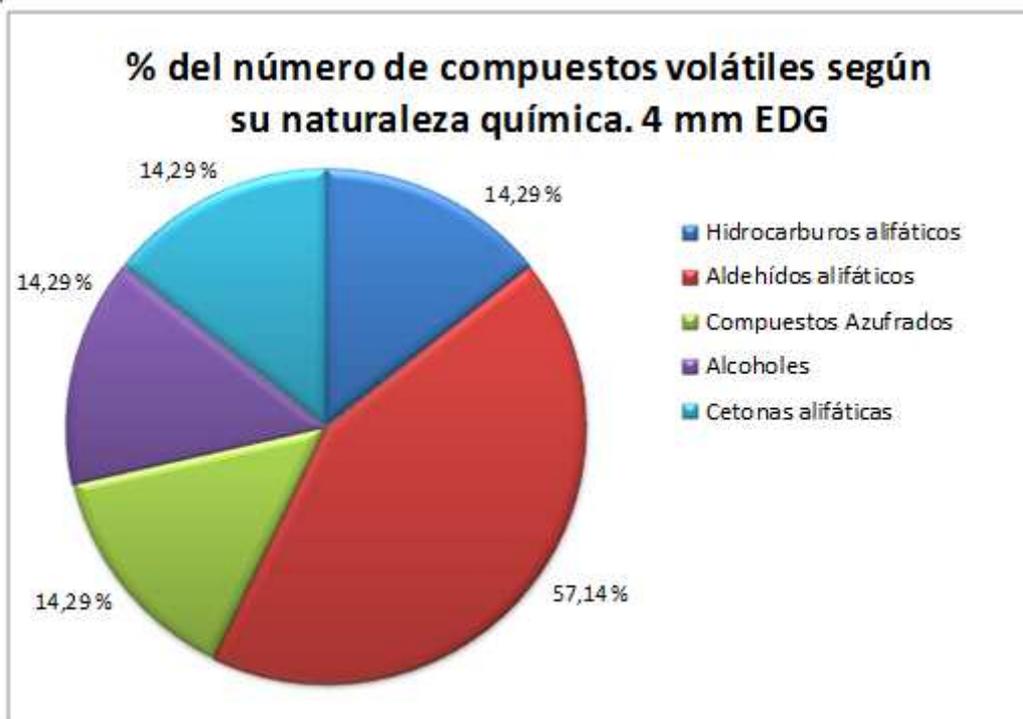


Figura 2. Porcentaje del número de compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestra de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica para 4 mm de EDG



Como se ha visto en los resultados gráficos y tablas, las diferencias mayores entre familias y presencia de compuestos se dan para los diferentes estados de engrasamiento, por lo tanto estudiaremos los resultados atendiendo a este criterio.

Para 3 mm EDG, hay una mayor presencia de Aldehídos Alifáticos con un 54.55%, este valor se aproxima a lo descrito por Mottram (1994). Los compuestos Azufrados y Cetonas tienen una presencia del 18.18 %, valores que se distancian mucho de lo descrito por Gorraiz, Beriain, Chasco e Insausti (2002) para carne fresca de vacuno, donde detectaron 3.3% de Cetonas Alifáticas y 6.4% de Compuestos Azufrados; y en menor proporción encontramos la familia de los Alcoholes Alifáticos, con el etanol como único compuesto, con una presencia de 9.09 %, esta familia fue detectada por los autores anteriores en carne fresca con un 3.2%

Para 4 mm EDG también se observa una mayor presencia de Aldehídos Alifáticos con un valor de 57.17 %. Seguidamente encontramos que las familias Cetonas Alifáticas, Hidrocarburos Alifáticos, Compuestos Azufrados y Alcoholes con 14.29 % de presencia.

Estos resultados llevan a una primera conclusión la aparición de Hidrocarburos Alifáticos para EDG 4 mm, y su ausencia en 3 mm EDG. Los compuestos que aparecen son: octano y 2,2,4,6,6-pentametilheptano.

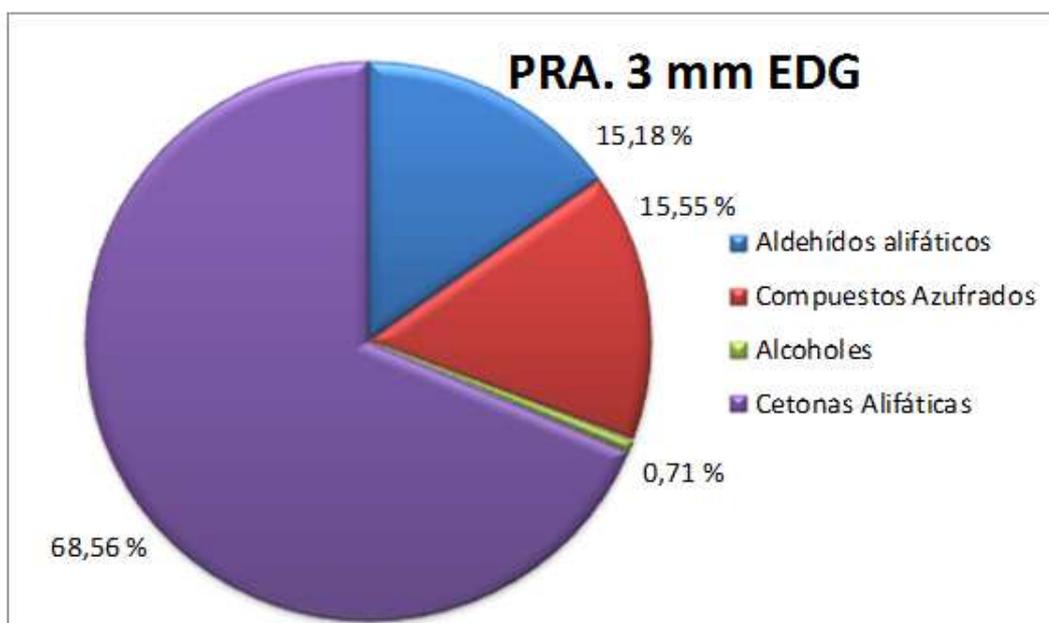
En las tablas 6 y 7, aparecen los porcentajes relativos de área de los compuestos, por familias, para 3 y 4 mm de EDG

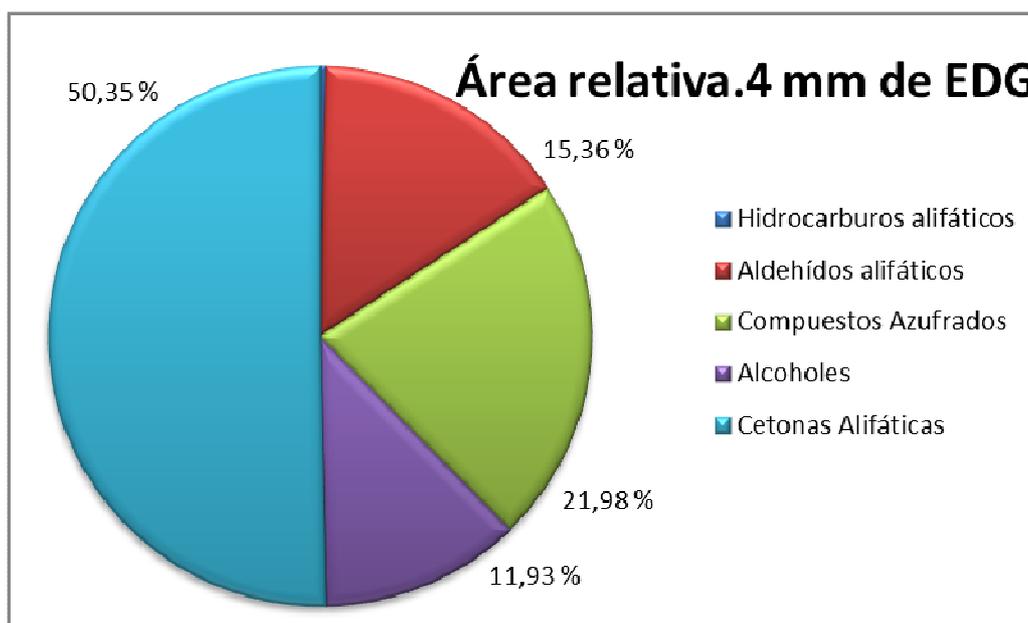
Tablas 6 y 7. Porcentaje relativo del área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para 3 y 4 mm. (Media Áreas x 10⁴)

3 mm		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Aldehídos alifáticos	6132,23	15,18
Compuestos Azufrados	6281,55	15,55
Alcoholes	285,13	0,71
Cetonas Alifáticas	27698,39	68,56
TOTAL	40397,32	100,00

4 mm		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Hidrocarburos alifáticos	374,65	0,38
Aldehídos alifáticos	15136,55	15,36
Compuestos Azufrados	21667,26	21,98
Alcoholes	11762,03	11,93
Cetonas Alifáticas	49620,82	50,35
TOTAL	98561,31	100,00

Figuras 3 y 4. 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 ternera de Raza Pirenaica, para 3 y 4 mm.





La familia de Hidrocarburos Alifáticos solamente está presente en EDG 4 mm. La familia de Cetonas Alifáticas es la que mayor PRA tiene para ambos EDG, siendo la familia de los Alcoholes la de menor PRA, y Compuestos Azufrados y Aldehídos Alifáticos tienen una PRA similar.

Compuestos aromáticos de la carne de terneros con 3 mm de EDG:

La familia de las Cetonas Alifáticas tienen un porcentaje muy superior al resto de familias con un 68.56 % del total, seguida de los Compuestos Azufrados con un 15.55 %, Aldehídos Alifáticos con 15.55% y los Alcoholes con un 0.71 %.

La familia de Cetonas Alifáticas tienen su origen en los procesos de degradación/oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados (Cha et al. 1992) y de degradación aminoacídica (Pan y Kuo, 1994). Los compuestos pertenecientes a esta familia son: 2-butanona, que alcanza un 15.71% de PRA, y la 2-propanona, detectada en mayor cantidad, con 52.86 % de PRA, porcentaje muy elevado que se aproxima a valores alcanzados en estudios de carne de ternera (MacLeod y Ames, 1986). Además, la 2-propanona ha sido observada como el compuesto volátil mayoritario en carne fresca (Gorraiz, Beriain, Chasco & Insausti, 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. Además 2,3-butanodiona se asocia a carne no fresca, y se asocia con aromas y sabores no deseados.

En la familia de Aldehídos Alifáticos, el compuesto con mayor PRA es el Etanal, con un 9.90 %. El resto de compuestos son poco significativos: Isobutanal 0.34 %, Hexanal 1.40 %, Heptanal 1.03 %, Octanal 1.18 y Nonanal 1.33 % de PRA . Se producen por oxidación de ácidos grasos insaturados. Nonanal, octanal y heptanal se forman de la oxidación del ácido oleico (Forss, 1972). Estos compuestos son importantes porque están relacionados con olores dulces, frutales y jabonosos en la carne (Spetch & Baltes, 1994), salvo el heptanal, que está asociado al olor de

las patatas (Schierberle & Grosch, 1987). El nonanal, es un producto de descomposición del 10-hidroperóxido, producido en la oxidación del ácido oleico, que es el mayor ácido graso presente en la grasa de carne de vacuno (Forss, 1972). Además, esta familia contribuye principalmente al olor de la carne gracias al hexanal (PRA), asociado con el olor de césped cortado (Acree and Aru, 1997), y se produce debido a la oxidación del ácido linoleico, además tiene un bajo umbral de detección y ha sido asociado también con olores a pinturas, herbales y a descriptores de carne rancia (Brewer and Vega, 1995), siendo un indicador del deterioro del flavor en carne (Shahidi and others, 1994)

Los Compuestos Azufrados que aparecen son el carbono disulfuro con 1.48 % y el 2- tiapropano (dimetil sulfuro o DMS) con 14.07%. 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). Además, el 2-tiapropano esta asociado a sabores agrios, olores a col y otros vegetales, y es un indicador de carne no fresca (Larick and Turner, 1990).

La familia de Alcoholes Alifáticos presenta un PRA muy bajo, de 0.71 %, siendo el único componente de esta familia detectado el etanol.

Compuestos aromáticos de la carne de terneros con 4 mm de EDG:

La familia Cetonas Alifáticas es la que mayor porcentaje de área tiene, con un 50.35% del total de las áreas. Seguidamente encontramos los Compuestos Azufrados, con un 21.98 %, los Aldehídos Alifáticos con un 15.36 % del total, y los Alcoholes con un 11.93 %.

Los compuestos pertenecientes a la familia de Hidrocarburos Alifáticos presentan un bajo PRA. Octano con 0.25 %, y el 2,2,4,6,6-pentametilheptano con 0.13 % 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).

La familia de las Cetonas Alifáticas esta compuesta por 2-butanona con 9.05 %, y la 2-propanona con 41.29 % de PRA, siendo este último, el compuesto más importante en cuanto a PRA, y como ya se ha dicho antes, coincide con lo observado por otros autores.

La familia de Aldehídos Alifáticos presenta un PRA similar para 3 y 4 mm de EDG.

Los Compuestos Azufrados presentan un PRA similar a los detectados para 3 mm EDG, siendo el carbono disulfuro con 0.39 % y el 2- tiapropano con 21.59%.. 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). Y como ya se ha dicho antes, esta asociada a olores no deseados.

La familia de Alcoholes Alifáticos tiene un PRA de 11.95%, y los compuestos que la componen son dos, el etanol (10.70 %), que se asocia con olores dulces, (Acree & Aru, 1997) y el 2-butanol (1.23 %). Véase que respecto a 3 mm de EDG aumenta considerablemente el PRA.

5.1.2. Caracterización de los compuestos volátiles detectados para el efecto dieta según el EDG

En la tablas 8, 9 y 10 aparecen los porcentajes correspondientes al número de compuestos por familias, para los tres tipos de alimentación y para 3 mm EDG.

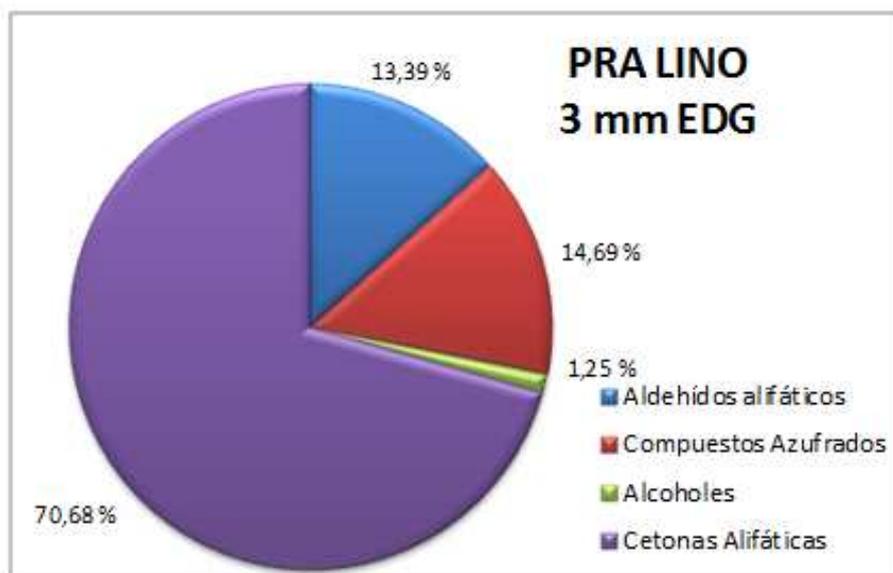
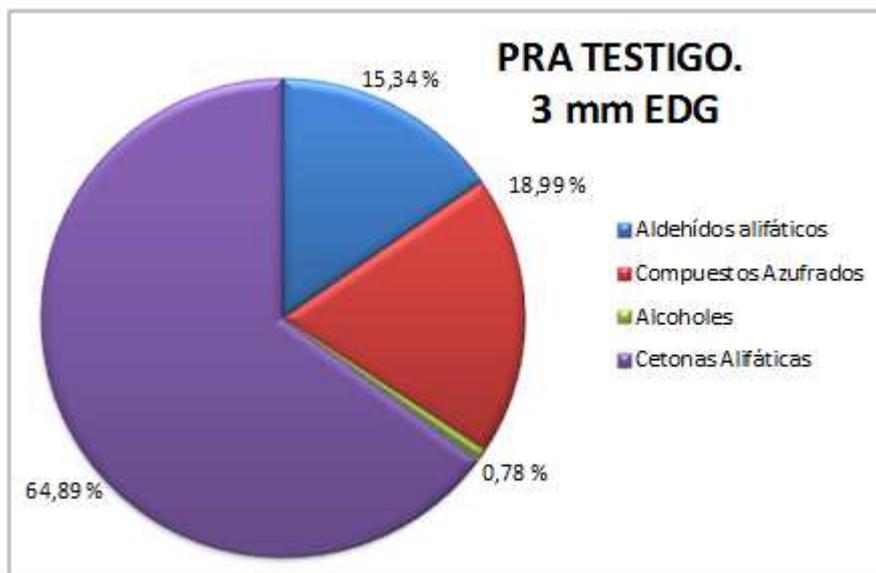
Tablas 8, 9 y 10. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 3 mm de EDG. (Media Áreas x 10⁴)

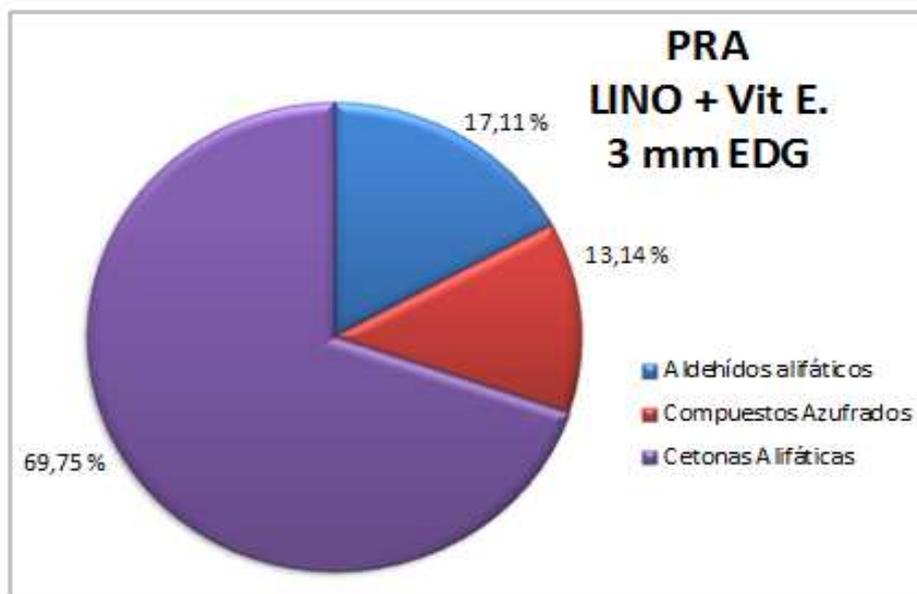
EDG 3 mm. DIETA TESTIGO		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Aldehídos alifáticos	1947,11	15,34
Compuestos Azufrados	2410,81	18,99
Alcoholes	99,43	0,78
Cetonas Alifáticas	8238,43	64,89
TOTAL	12695,77	100,00

EDG 3 mm. DIETA LINO		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Aldehídos alifáticos	1995,97	13,39
Compuestos Azufrados	2190,06	14,69
Alcoholes	185,71	1,25
Cetonas Alifáticas	10537,78	70,68
TOTAL	14909,52	100,00

EDG 3 mm. DIETA LINO + VIT E		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	%
Aldehídos alifáticos	2189,16	17,11
Compuestos Azufrados	1680,69	13,14
Alcoholes	0	0,00
Cetonas Alifáticas	8922,18	69,75
TOTAL	12792,03	100,00

Figuras 5, 6 y 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 ternera de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 3 mm de EDG.





A continuación se discuten las familias de compuestos volátiles presentes en las muestras de 3 mm EDG, para los tres tipos de dietas a estudio.

Compuestos aromáticos en la dieta testigo:

La familia más importante en PRA para esta dieta son las Cetonas Alifáticas con un 64.89 % de PRA, siendo la más significativa la 2- propanona con un 52.70 %, seguida de la 2- butanona, con un 12.19 %. La familia de Compuestos Azufrados, representa un 18.99 % de PRA, siendo el compuesto más significativo el 2-tiapropano con 17.63 %, y en minoría, el carbono disulfuro con 1.36 %. Dentro de la familia de Aldehídos Alifáticos, que representa un 15.34 %, encontramos como compuesto mayoritario el etanal con 9.31 % de PRA, y el resto de compuestos representan en torno al 1.2 % PRA. La familia de Alcoholes está formada por un único compuesto poco significativo en el PRA total, que es el etanol con 0.78 % PRA

Compuestos aromáticos en la dieta lino:

La familia más importante en PRA es Cetonas Alifáticas con 70.68 %, siendo el compuesto más importante la 2-propanona con 54.42% de PRA. Los Compuestos Azufrados, tienen un PRA de 14.69 % siendo el 2-tiapropano el compuesto principal con 12.71 %. Para el resto de familias, los compuestos toman valores de PRA similares en las tres dietas

Compuestos aromáticos en la dieta lino + Vit E:

La familia más importante vuelve a ser la de Cetonas Alifáticas con un PRA de 69.75 %, siendo el compuesto más importante 2- propanona con 51.19 %. Los Compuestos Azufrados tienen un PRA de 13.14 %, siendo el 2-tiapropano el mayoritario con un 12.11 %. En esta dieta, la familia de compuestos azufrados se ve superada por la de Aldehídos Alifáticos, que ven aumentado su PRA debido al etanal, que alcanza un valor de 11.86 % PRA. Además otra diferencia relevante es la desaparición de la familia de Alcoholes en esta dieta.

En las tablas 11, 12 y 13 aparecen los porcentajes correspondientes al número de compuestos por familias, para los tres tipos de alimentación y para 4 mm EDG.

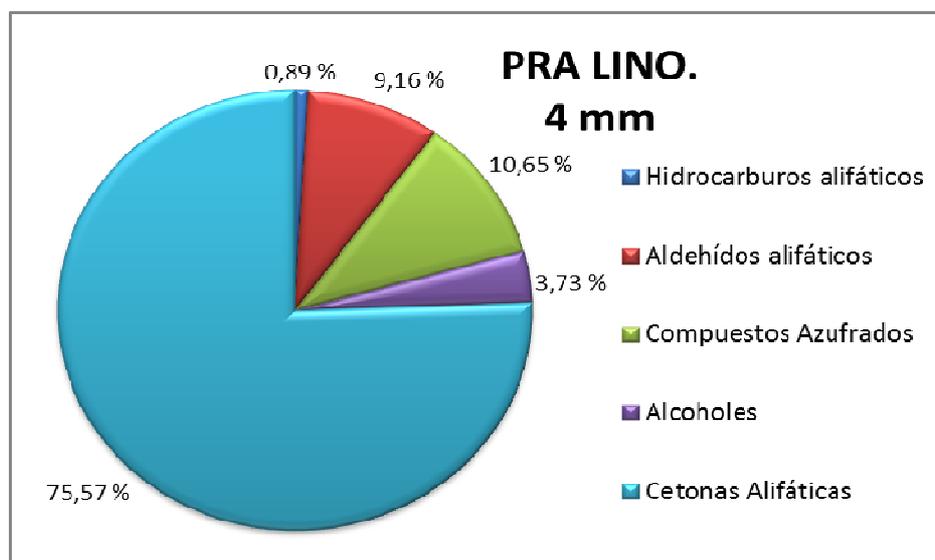
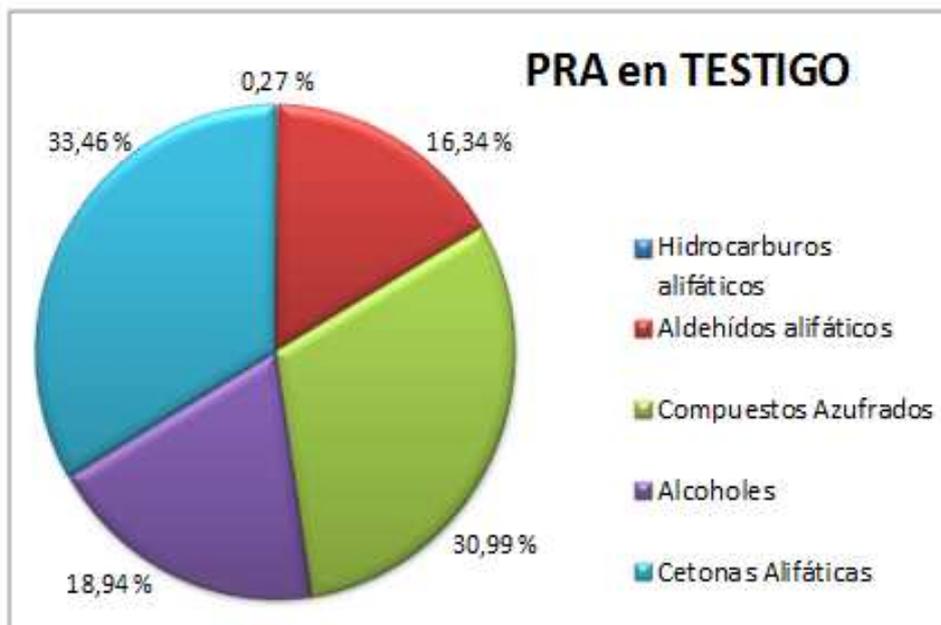
Tablas 11, 12 y 13. Porcentaje relativo de área de los compuestos volátiles según su naturaleza química detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 4 mm de EDG.

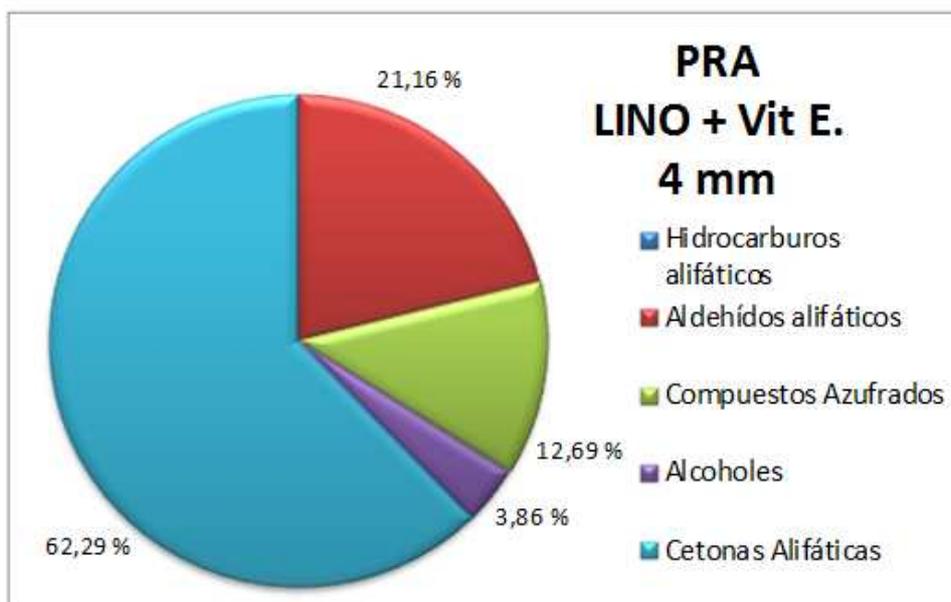
DIETA TESTIGO		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	PRA %
Hidrocarburos alifáticos	141,07	0,27
Aldehídos alifáticos	8655,71	16,34
Compuestos Azufrados	16420,69	30,99
Alcoholes	10036,58	18,94
Cetonas Alifáticas	17730,25	33,46
TOTAL	52984,30	100,00

DIETA LINO. 4 mm		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	PRA %
Hidrocarburos alifáticos	233,58	0,89
Aldehídos alifáticos	2412,91	9,16
Compuestos Azufrados	2807,32	10,65
Alcoholes	983,41	3,73
Cetonas Alifáticas	19913,93	75,57
TOTAL	26351,16	100,00

DIETA LINO + VIT E. 4 mm		
COMPUESTOS VOLÁTILES	Área	PRA %
Hidrocarburos alifáticos	0	0,00
Aldehídos alifáticos	4067,93	21,16
Compuestos Azufrados	2439,24	12,69
Alcoholes	742,04	3,86
Cetonas Alifáticas	11976,64	62,29
TOTAL	19225,86	100,00

Figuras 8, 9 y 10. 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 ternera de Raza Pirenaica, para los tres tipos de alimentación y para 4 mm de EDG.





A continuación se discuten las familias de compuestos volátiles presentes en las muestras de 4 mm EDG, para los tres tipos de dietas a estudio:

Compuestos aromáticos en la dieta testigo:

La familia más importante en PRA para esta dieta son las Cetonas Alifáticas con un 33.46 % de PRA, siendo la más importante la 2- propanona con un 27.05 %, seguida de la 2- butanona, con un 6.41 %. No con menor importancia, la familia de Compuestos Azufrados, representa un 35.13 % de PRA, siendo el compuesto más significativo el 2-tiapropano con 30.90%, y en minoría, el carbono disulfuro con 0.09 %. En la familia de Aldehidos Alifáticos, que representa un 16.34 %, encontramos como compuesto mayoritario el hexanal con 9.54 % de PRA, y el resto de compuestos representan en torno al 0.4 % PRA. La familia de Alcoholes tiene 18.94 % PRA, y en ella están presentes el etanol con 17.67% de PRA y el 2-butanol con 1.27%. Es significativa, la aparición de la familia de Hidrocarburos Alifáticos, con un 0.27 % de PRA, correspondiente únicamente al octano.

Es en esta dieta en la que se encuentran mayores diferencias entre EDG 3 y 4 mm, ya que encontramos que la familia de las Cetonas Alifáticas pasa de tener un PRA de 64.89% en 3mm EDG a 33.46 % en 4 mm EDG. Significativo también lo que ocurre en el caso de los Compuestos Azufrados que pasan de 18.99 % PRA en 3 mm EDG a 30.99% en 4 mm EDG, y el caso de los Alcoholes Alifáticos que pasan de 0.78 % de PRA en 3 mm EDG a 18.94 % en 4 mm EDG.

Compuestos aromáticos en la dieta lino:

La familia más importante en PRA es Cetonas Alifáticas con 75.57 %, siendo el compuesto más importante la 2-propanona con 65.16% de PRA, seguido de la 2- butanona con 10.41 %. Los Compuestos Azufrados, tienen un PRA de 10.65 % siendo el 2-tiapropano el compuesto principal con 9.83 % y el otro compuesto que aparece de esta familia es el carbono disulfuro con 0.83 % de PRA. En la familia de Aldehidos Alifáticos (PRA de 9.16%) deja de tener tanta importancia el Hexanal con respecto a la dieta control, con un PRA de 1.74 %. El resto de compuestos de la familia tomarán valores similares. La familia de los Alcoholes representan un valor de PRA de 3.73 %, la componen el etanol con 2.78 % PRA y el 2- butanol con 0.95 %. Se observa la presencia de nuevo de Hidrocarburos Alifáticos con 0.89% PRA formados por el octano con 0.42

% PRA, y apareciendo sólo y exclusivamente en esta dieta y para este EDG el compuesto 2,2,4,6,6-pentametilheptano, con un PRA de 0.47%.

Compuestos aromáticos en la dieta lino + Vit E:

La familia más importante vuelve a ser la de Cetonas Alifáticas con un PRA de 62.29%, siendo el compuesto más importante 2- propanona con 47.84 % de PRA. Los Compuestos Azufrados tienen un PRA de 12.69 %, siendo el 2-tiapropano el mayoritario con un 12.05 %. Los Aldehídos Alifáticos toman un valor de 15.36 % PRA, teniendo mayor importancia el etanal con 11.63 % PRA y teniendo el resto de compuestos de la familia valores poco significativos. La familia de los Alcoholes tienen un PRA de 3.86 %, perteneciendo a ella el etanol con 2.35 % y el 2- butanol con 1.51 % PRA.

En esta dieta no se han detectado compuestos de la familia de Hidrocarburos Alifáticos.

Como primeras conclusiones del estudio de compuestos volátiles detectados en las muestras con diferentes dietas y EDG, se puede afirmar que:

Dentro de las Cetonas Alifáticas se produce una diferencia notable en la dieta testigo entre los dos estados de engrasamiento (3 y 4 mm EDG). La 2-propanona se ve reducida de 52.70 % de PRA a 27.05 % y la 2-butanona de 12.19 % de PRA a 6.41 % al aumentar el engrasamiento de 3 a 4 mm. Cabe recordar la relación directa de esta familia con el aroma frutal, floral y herbáceo, lo que indica, el descenso de dicho aroma de una EDG de 3 mm a una EDG de 4 mm. Para 4 mm EDG la presencia de esta familia para dieta lino es aproximadamente el doble que para dieta testigo; la 2- propanona toma un valor de 65.66 % PRA y la 2- butanona de 10.41 %. Estos dos valores reducen su valor pero de forma poco significativa para la dieta lino+ vit E respecto a la de lino. Por lo tanto el lino aumenta la familia, de cetonas alifáticas y es superior en los de 3 mm de EDG frente a 4 mm.

En la dieta testigo, los Compuestos Azufrados han aumentado su PRA. El compuesto 2-tiapropano que presentó 17.63% de PRA en 3 mm EDG y de 30.90 % en 4 mm EDG. En EDG 4 mm, se observa que en la dieta lino, los Compuestos Azufrados toman un valor mucho menor que en dieta testigo, siendo 9.83 % y 30.90 % de PRA respectivamente. En la dieta lino+VitE, toman valores aproximados a los de la dieta lino.

Los Aldehídos Alifáticos, no sufren una alteración considerable del PRA como familia, pero hay una diferencia importante; para 3 mm EDG el compuesto principal es el etanal con 9.31 % PRA, y para 4 mm EDG deja de ser el compuesto principal siendo el hexanal con 9.54 % de PRA. Dentro de la de EDG 4 mm se observa un descenso significativo del PRA de esta familia, disminuyendo de 16.34 % en dieta testigo a 9.16 % en dieta lino, debido a un descenso del hexanal. Cabe destacar un aumento del etanal en la dieta lino+VitE, tomando un valor de 11.63 % PRA

La principal diferencia en la familia de Alcoholes, es la presencia del 2-butanol en carne de terneros de 4 mm de EDG y no en 3 mm de EDG. En 4 mm EDG se observa un menor valor del etanol en dieta lino y manteniéndose similar para dieta control, reduciéndose de 17.67% PRA en dieta testigo a 2.78 % PRA

La familia de Hidrocarburos Alifáticos solamente está presente para 4 mm EDG en dietas testigo y lino, en dieta lino+ Vit E, estos compuestos no están presentes. En dieta testigo solo aparece el

octano con 0.27 % PRA. En dieta lino, aparece junto al 2,2,4,6,6-pentametilheptano con 0.47 % PRA, compuesto que aparece exclusivamente en esta dieta.

5.2. Efecto de la dieta y del EDG en el perfil de compuestos volátiles

En la tabla 14 aparecen representadas las interacciones entre los efectos alimentación y EDG, además de la interacción de los mismos, tras el análisis de resultados mediante el test de análisis de varianza (ANOVA):

Tabla 14. Niveles de significación estadísticos de los factores alimentación, EDG y de la interacción alimentación x EDG en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica.

Volátil	Dieta	EDG	Dieta + EDG
Etanal	*	*	NS
Etanol	NS	NS	NS
2-propanona	NS	NS	NS
2-tiapropano (DMS)	NS	NS	NS
Carbono disulfuro	NS	NS	NS
Isobutanal	NS	NS	NS
2-butanona	*	**	NS
2-butanol [☒]	NS		
Octano [☒]	NS		
Hexanal	NS	NS	NS
Heptanal	NS	NS	NS
2,2,4,6,6,-pentametilheptano [☒]	NS		
Octanal	NS	NS	NS
Nonanal	NS	NS	NS

Niveles de significación *p<0,05 **p<0,01 ***p<0,001

☒solo aparece en EDG 4 mm

Tanto el efecto dieta como el efecto EDG fueron significativos para el etanal y para la 2-butanona, siendo mayor la significación para la 2-butanona el efecto EDG.

La interacción DIETA x EDG, no se encontró significación para ningún compuesto.

La tabla 15 representa el efecto de la interacción alimentación y EDG sobre el perfil de los compuestos volátiles de carne de terneros de Raza Pirenaica

Tabla 15. Efecto de la interacción de la alimentación x EDG en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica. (Media Áreas x 10⁴)

		<i>DIETA TESTIGO</i>		<i>DIETA LINO</i>		<i>DIETA LINO + VIT E</i>		<i>Significación</i>
		Media áreas	Media % áreas	Media áreas	Media % áreas	Media áreas	Media % áreas	
HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS								
OCTANO	EDG 3	-	-	-	-	-	-	NS
	EDG 4	141,07	0,27	109,60	0,42	-	-	NS
	Error promedio		0,102	2,868		-	-	
	Significación	-	-			-	-	
2,2,4,6,6-PENTAMETILHEPTANO	EDG 3	-	-	-	-	-	-	
	EDG 4	-	-	123,98	0,47	-	-	
	Error promedio				0,427			
	Significación		-		-			
ALDHEÍDOS ALIFÁTICOS								
ETANAL	EDG 3	1181,63	9,31	1301,40	8,73	1517,01	11,86	NS
	EDG 4	831,26	1,57	312,90	1,19	2235,42	11,63	**
	Error promedio		25,025		17,575		36,408	
	Significación		NS		*		NS	
HEXANAL	EDG 3	201,93	1,59	164,05	1,1	201,32	1,57	NS
	EDG 4	5055,44	9,54	459,45	1,74	694,68	3,61	NS
	Error promedio		226,27		6,208		2,866	
	Significación		NS		NS		*	
HEPTANAL	EDG 3	142,54	1,12	120,96	0,81	150,66	1,18	NS
	EDG 4	316,15	0,6	531,99	2,02	351,91	1,83	NS
	Error promedio		0,265		0,072		1,542	
	Significación		NS		NS		NS	

OCTANAL	EDG 3	171,15	1,35	163,11	1,09	141,24	1,1	NS
	EDG 4	222,25	0,42	364,13	1,38	325,99	1,7	NS
	Error promedio		0,293		4,483		1,035	
	Significación		NS		NS		NS	
NONANAL	EDG 3	189,39	1,49	203,57	1,37	143,60	1,12	NS
	EDG 4	276,23	0,52	558,22	2,12	344,85	1,79	NS
	Error promedio		0,775		5,102		1,332	
	Significación		NS		NS		NS	
ISOBUTANAL	EDG 3	60,46	0,48	42,85	0,29	35,32	0,28	NS
	EDG 4	1954,37	3,69	186,20	0,71	115,08	0,6	NS
	Error promedio		84,439		4,118		0,203	
	Significación		NS		NS		NS	
CETONAS ALIFÁTICAS								
2-BUTANONA	EDG 3	1547,53	12,19	2423,70	16,26	2374,47	18,56	NS
	EDG 4	3397,43	6,41	2744,02	10,41	2778,83	14,45	**
	Error promedio		4,0241		12,049		27,131	
	Significación		NS		**		NS	
2-PROPANONA	EDG 3	6690,89	52,7	8114,07	54,42	6547,71	51,19	NS
	EDG 4	14332,81	27,05	17169,90	65,16	9197,80	47,84	NS
	Error promedio		193,486		290,827		118,399	
	Significación		NS		NS		NS	
COMPUESTOS AZUFRADOS								
CARBONO DISULFURO	EDG 3	173,04	1,36	294,72	1,98	131,45	1,03	NS
	EDG 4	48,69	0,09	218,13	0,83	122,34	0,64	NS
	Error promedio		3,629		1,832		0,129	
	Significación		NS		NS		*	

2-TIAPROPANO (DIMETILSULFURO)	EDG 3	2237,76	17,63	1895,33	12,71	1549,24	12,11	NS
	EDG 4	16371,99	30,9	2589,19	9,83	2316,90	12,05	NS
	Error promedio		343,013		28,914		10,808	
	Significación		NS		NS		NS	
ALCOHOLES								
ETANOL	EDG 3	99,43	0,78	185,71	1,25	0	0	NS
	EDG 4	9361,33	17,67	731,78	2,78	452,19	2,35	NS
	Error promedio		112,84		101,62		-	
	Significación		NS		NS			
2-BUTANOL	EDG 3	-	-	-	-	-	-	NS
	EDG 4	675,25	1,27	251,62	0,95	289,84	1,51	NS
	Error promedio	-	-	-	0,003	-	0,262	-
	Significación	-	-	-	-	-	-	-

Niveles de significación: * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

El estudio de los resultados de la interacción de los efectos dieta y EDG, se ha realizado por familias químicas:

La familia de los Hidrocarburos Alifáticos está formada por el octano, que sólo está presente en dietas Testigo y Lino, y para una EDG de 4 mm y con una interacción entre los efectos estudiados no significativa; y el 2,2,4,6,6-pentametilheptano que únicamente aparece para el efecto dieta lino y una EDG de 4 mm, por lo que no ha sido posible detectar la significación.

De los seis compuestos a estudio en la familia de Aldehídos Alifáticos, el heptanal, octanal, nonanal e isobutanal, no tienen significación ni para los diferentes tipos de dieta ni para los diferentes EDG. Además comparten un porcentaje de área relativa similar (en torno al 1%). Los únicos compuestos que presentan significación son el etanal y el hexanal. El etanal presenta significación para la dieta lino, con un nivel de significación de $p < 0.05$, y un nivel de significación para EDG 4 mm de $p < 0.01$. El hexanal, por su parte, presenta un nivel de significación de $p < 0.05$, únicamente para la dieta lino+ Vit E. Pese a que esta familia no representa un elevado porcentaje relativo de área respecto al total de familias, es el etanal que más porcentaje relativo de área tiene dentro de esta familia (aproximadamente el 10%).

La familia que mayor porcentaje de área relativa presenta respecto al total de familias son las Cetonas Alifáticas. Los compuestos detectados son la 2-propanona, que no presenta significación para ninguno de los efectos a estudio, aunque cabe destacar su elevado PRA, encontrando un valor de 65.16% para la dieta lino y un EDG de 4 mm. Este compuesto es además el mayoritario encontrado en todas las dietas y en los dos EDG; y la 2-butanona que presenta un nivel de significación de $p < 0.01$ para la dieta lino y EDG de 4 mm.

En la familia de Compuestos Azufrados encontramos el 2-tiapropano, cuyo PRA es uno de los más importantes, pero no se encontró significación alguna entre los efectos a estudio; y el Carbono Disulfuro que presenta solamente significación para el efecto dieta lino+ Vit E con un valor de $p < 0.05$

Los compuestos detectados pertenecientes a la familia de Alcoholes Alifáticos son el etanol y el 2-butanol. Este último compuesto solamente está presente para EDG de 4 mm, no encontrando significación alguna. El etanol no está presente para la dieta lino + Vit E y EDG de 3 mm.

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

Para llevar a cabo este estudio, se realizó un test de correlación de Pearson (r).

La tabla 16 muestra las correlaciones entre los compuestos volátiles detectados en el análisis instrumental, para los efectos dieta y EDG.

Tabla 16. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en las muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de la Raza Pirenaica.

	<i>Etanal</i>	<i>Etanol</i>	<i>2-propanona</i>	<i>2-tiapropano</i>	<i>Carbono disulfuro</i>	<i>Isobutanal</i>	<i>2-butanona</i>	<i>2-butanol</i>	<i>Octano</i>	<i>Hexanal</i>	<i>Heptanal</i>	<i>2,2,4,6,6-pentametilheptano</i>	<i>Octanal</i>
Etanol	-0,147												
2-propanona	-	-											
2-tiapropano	0,427^{??}	0,533^{??}											
Carbono disulfuro	-0,024	0,303	-0,312[?]										
Isobutanal	0,114	-0,168	0,12	-0,12									
2-butanona	-0,053	0,746^{??}	0,596^{??}	0,536^{??}	-0,171								
2-butanol	0,118	-0,239	-0,401[?]	-0,77	-0,258	-0,002							
Octano	0,327	0,29	-0,395	0,617	0,619	0,505	0,779						
Hexanal	0,539	0,676	-0,877	0,885	-0,528	0,083	0,847	-					
Heptanal	-0,2	0,04	-0,313	0,159	-0,365[?]	0,116	-0,194	-	0,990^{??}				
2,2,4,6,6-pentametilheptano	0,096	-0,271	-0,189	0,136	0,04	0,135	-0,02	-	0,996^{??}	0,078			
Octanal	0,889[?]	0,935^{??}	-0,905^{??}	0,309	-0,459	0,923[?]	0,388	0,987^{??}	0,999[?]	0,970[?]	-0,845^{??}		
Nonanal	0,064	0,552^{??}	0,553^{??}	0,058	-0,154	0,28	-0,016	-	0,999^{??}	0,006	0,870^{??}	0,863^{??}	
	0,057	0,583^{??}	-0,495^{??}	0,358[?]	-0,171	0,297	-0,158	-	0,993^{??}	0,017	0,703^{??}	0,815[?]	0,931^{??}

*Correlación significativa a nivel de 0.05

**Correlación significativa a nivel de 0.001

En la tabla anterior se están reflejados los valores de correlación entre todos los compuestos que han aparecido en el espacio de cabeza dinámico.

Se aprecia como los compuestos pertenecientes a la familia de Aldehídos Alifáticos, presentan correlación positiva entre ellos, y con compuestos de otras familias, como el 2,2,4,6,6-pentametilheptano y el octano, Hidrocarburos Alifáticos, y los valores de correlación son muy elevados, siendo positivos para cualquier compuesto de esta familia, y tomando valores de $p < 0.01$.

Cabe destacar que la 2-propanona, perteneciente a la familia de Cetonas Alifáticas, presenta correlación con compuestos de todas las familias, tomando un $p < 0.001$ para el isobutanol, octanal y nonanal, todos ellos pertenecientes a la familia de Aldehídos Alifáticos, siendo positiva para el octanal y el isobutanol. También presenta significación negativa para el 2-tiopropano y la 2-butanona con un nivel de significación de $p < 0.05$

Los compuestos pertenecientes a la familia de Compuestos Azufrados no presentan apenas correlación con el resto de compuestos de las diferentes familias, teniendo únicamente correlación con la familia de Aldehídos Alifáticos, y dentro de esta familia solamente con los compuestos isobutanol, hexanal y nonanal.

Finalmente como conclusión, se ha encontrado un mayor número de correlaciones significativas entre compuestos pertenecientes a la familia de Aldehídos Alifáticos y de compuestos de esta familia con compuestos incluidos en la familia de Hidrocarburos Alifáticos.

Las tablas 17 y 18 muestran las correlaciones entre los compuestos volátiles detectados en el análisis instrumental, para los efectos dieta y EDG de 3 mm y 4 mm.

Tabla 17. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en las muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de la Raza Pirenaica en 3 mm de EDG

	<i>Etanal</i>	<i>2-propanona</i>	<i>2-tiapropano</i>	<i>Isobutanal</i>	<i>Heptanal</i>	<i>Octanal</i>
2-propanona	-0.518*					
2-tiapropano (DMS)	0.067	-0.610**				
Isobutanal	0.616*	-0.249	0.410			
Heptanal	-0.279	0.415	-0.139	0.023		
Octanal	-0.012	-0.214	0.482*	0.322	0.797**	
Nonanal	-0.086	-0.386	0.614**	0.377	0.341	0.834**

Tabla 18. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en las muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de la Raza Pirenaica en 4 mm de EDG.

	<i>Etanol</i>	<i>2-propanona</i>	<i>2-tiapropano</i>	<i>Carbono disulfuro</i>	<i>Isobutanal</i>	<i>2-butanol</i>	<i>Octano</i>	<i>Hexanal</i>	<i>Heptanal</i>	<i>2,2,4,6,6-pentametilheptano</i>	<i>Octanal</i>
2-propanona	-0.859**										
2-tiapropano (DMS)	0.354	-0.043									
Carbono disulfuro	-0.233	0.131	-0.546*								
Isobutanal	0.729**	-0.681*	0.560*	-0.264							
2-butanol	-0.290	-0.395	0.617	0.619	0.505						
Octano	0.676	-0.877	0.885	-0.528	0.083	---					
Hexanal	-0.016	-0.381	-0.156	-0.343	-0.064	0.162	0.990**				
Heptanal	0.344	-0.423	-0.129	0.628*	0.053	0.682	1**	-0.009			
2,2,4,6,6-pentametilheptano	0.935**	-0.905**	-0.309	-0.459	0.923*	0.987**	0.999*	0.970**	-0.845**		
Octanal	0.550**	-0.644**	-0.048	-0.060	0.247	0.615	0.999**	-0.045	0.931**	0.863**	
Nonanal	0.574*	0.556*	0.355	0.174	0.244	0.635	0.993**	-0.039	0.849**	0.815*	0.943**

*Correlación significativa a nivel de 0.05

**Correlación significativa a nivel de 0.001

Al analizar la correlación para 3 y 4 mm de EDG (tablas 17 y 18 respectivamente), se observan ciertas diferencias a las obtenidas en la tabla 16.

Analizando los resultados obtenidos para un EDG de 3 mm, se mantiene la correlación entre compuestos pertenecientes a la familia de Aldehídos Alifáticos al igual que en la tabla 16, con un nivel de significación de $p < 0.01$ para heptanal, octanal, y nonanal; sin embargo el isobutanol únicamente tiene correlación con el etanal, y un nivel de significación de $p < 0.05$.

A diferencia que en la tabla 16, la 2-propanona perteneciente a la familia de Cetonas Alifáticas, deja de tener correlación con la mayoría de Aldehídos Alifáticos, únicamente tiene correlación con el etanal con un nivel de significación de $p < 0.05$. Sin embargo, se aprecia la correlación de este compuesto con el 2-tiapropano perteneciente a la familia de Compuestos Azufrados. El 2-tiapropano tiene también correlación con octanal y nonanal, Aldehídos Alifáticos.

Para un EDG de 4 mm, se ha observado que la tabla 18, es muy similar a la tabla 16, en cuanto al número de compuestos a correlacionar debido a que son los compuestos similares en 4 mm de EDG. Esto implica que los resultados obtenidos para esta tabla son similares a los de la tabla 16, con alguna diferencia apreciable, como el 2-tiapropano que deja de tener significación con compuestos de la familia de Aldehídos Alifáticos.

5.3. EFECTO DE LA CONGELACIÓN EN LA CARNE DE VACUNO

En este apartado se van a estudiar el efecto que la congelación de las muestras ha tenido sobre los compuestos volátiles y el perfil aromático de la carne de terneros de Raza Pirenaica.

Solamente se dispuso de los datos anteriores al congelado de las muestras de 3 mm de EDG, por lo que estudiaremos el efecto congelación solamente con estos datos.

Como se ha señalado en el apartado de antecedentes, congelar la carne puede afectar a algunas de sus características sensoriales, como la textura, el color, la jugosidad o el flavor (rancidez). Este hecho depende de la temperatura y velocidad de congelación, de las condiciones de mantenimiento en congelación (tiempo, temperatura y sus fluctuaciones, exposición al aire y/o la luz) y de la velocidad de descongelación (Prändl et al., 1994). Dado que la calidad sensorial es uno de los principales criterios de compra de carne de vacuno por parte del consumidor (Andersen et al., 2005), cualquier efecto que la disminuya será crítico para su aceptabilidad.

En la tabla 19 se muestran los compuestos volátiles que han aparecido en los análisis instrumentales tanto en la carne congelada como sin congelar.

Tabla 19. Compuestos volátiles que han sido detectados en el espacio de cabeza dinámico, antes y después de la congelación en las muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica.

FAMILIA	COMPUESTO	
	SIN CONGELAR	CONGELADA
Hidrocarburos alifáticos	2-Metilpentano	
	3-Metilenheptano	
	Octano	
	2,2,4,6,6-Pentametilheptano	
	1-1'-oxibis etano	
		1-octeno
Terpenoides		2-octeno
		Limoneno
Aldehídos alifáticos	Etanal	Etanal
	Nonanal	Nonanal
		Hexanal
		Isobutanal
		Heptanal
Cetonas alifáticas		Octanal
	2-propanona	2-propanona
	2-butanona	2-butanona
	2,3-butanodiona	
Compuestos Azufrados	2-tiapropano (DMS)	2-tiapropano (DMS)
	Carbono Disulfuro	Carbono Disulfuro
Alcoholes Alifáticos	Etanol	Etanol
	2-butanol	2-butanol
	1-propanol	
	1-octen-3-ol	

Los compuestos que se detectaron antes y tras la congelación son: etanal y nonanal (Aldehídos Alifáticos); 2-propanona y 2-butanona (Cetonas Alifáticas); carbono disulfuro y 2-tiapropano o dimetilsulfuro (Compuestos Azufrados), etanol y 2-butanol (Alcoholes Alifáticos)

Los compuestos que no se detectaron tras la congelación son: 2-metilpentano, 3-metilheptano, octano, 2,2,4,6,6-pentametilheptano y el 1-1'-oxybisetano (Hidrocarburos Alifáticos); y 1-propanol, 2-butanol y 1-oten-3-ol (Alcoholes).

Los compuestos que se detectaron tras la congelación son: 1-octeno, 2- octeno (Hidrocarburos Alifáticos); el limoneno (Terpenoide), pero con poca significación; isobutanal, hexanal, heptanal y octanal (Aldehídos Alifáticos), 2,3-butanodiona.

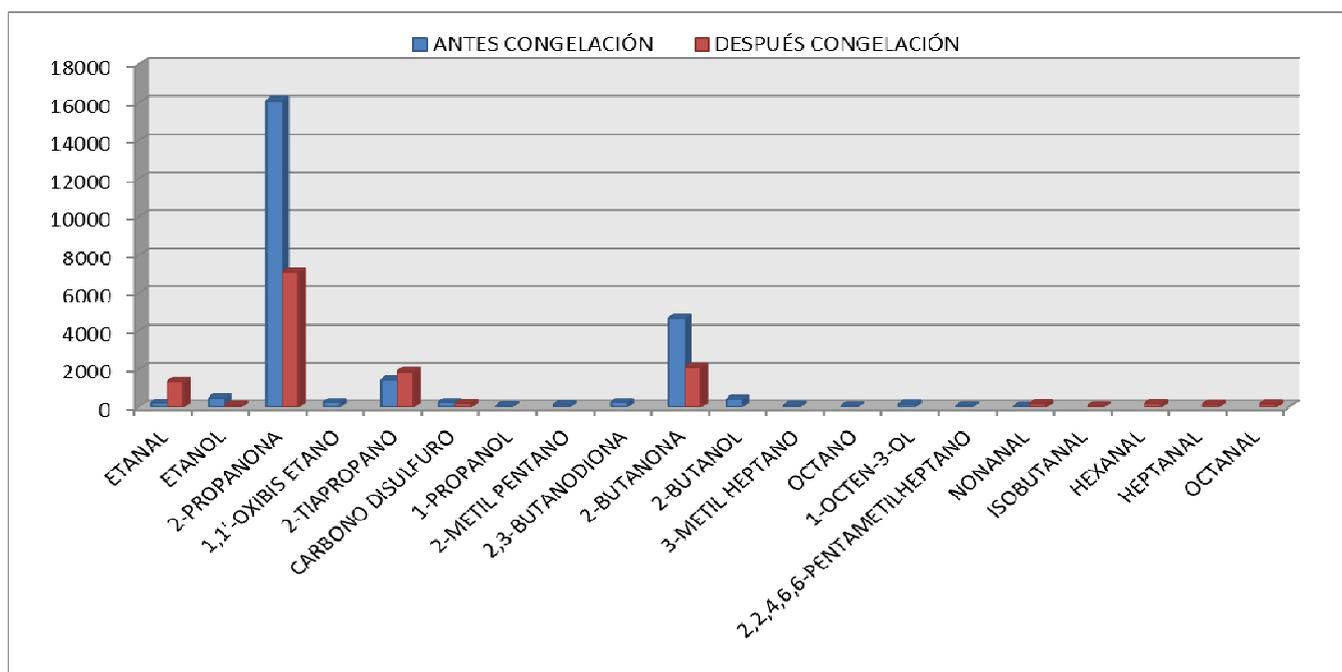
En las tabla 20 se representan los compuestos detectados antes y después de la congelación y sus áreas.

Tabla 20. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico antes y después de la congelación en muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de la Raza Pirenaica, y la media de sus áreas (Media x 10⁴).

COMPUESTO	MEDIA DE LAS ÁREAS (x10 ⁴)	
	ANTES CONGELACIÓN	DESPUÉS CONGELACIÓN
ETANAL	227,90	1333,34
ETANOL	506,07	95,04
2-PROPANONA	16087,66	7117,56
1,1'-OXIBIS ETANO	268,41	
2-TIAPROPANO (DIMETIL SULFURO)	1430,67	1894,11
CARBONO DISULFURO	267,75	199,73
1-PROPANOL	67,4701	
2-METIL PENTANO	122,56	
2,3-BUTANODIONA	269,11	
2-BUTANONA	4690,25	2115,23
2-BUTANOL	433,29	
3-METIL HEPTANO	84,11	
OCTANO	51,26	
1-OCTEN-3-OL	153,52	
2,2,4,6,6-PENTAMETILHEPTANO	49,01	
NONANAL	31,62	178,85
ISOBUTANAL		46,21
HEXANAL		189,1
HEPTANAL		138,05
OCTANAL		158,5

En la figura 11 se ven los compuestos y sus áreas gráficamente, antes y después de la congelación.

Figura 11. Compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico de muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica, antes y después de la congelación.



Se puede observar las diferencias de áreas entre los mismos compuestos, y como diversos compuestos son detectados y no son detectados antes y después de la congelación.

Es significativo que el etanal, aumenta bastante su área tras la congelación, lo que se relaciona con malos olores en la carne (Shaidi and others, 1986).. Por el contrario, el área de la 2-butanona, disminuye aproximadamente la mitad, disminuyendo también el área en el etanol. La 2-propanona que se relaciona positivamente con olores y sabores en vacuno (Winter and others, 1976), y una disminución de su área implica también que disminuya esa relación positiva.

En la familia de Compuestos Azufrados, 2-tiapropano o dimetilsulfuro, aumenta su área tras la congelación, y esto se traduce en un incremento de olores desagradables tras la congelación (Larick and Turner, 1976); y el carbono disulfuro disminuye su área, pero no muy significativamente.

Un compuesto que se detecta tras la congelación es el hexanal, perteneciente a la familia de Aldehídos Alifáticos. Este compuesto proviene de la oxidación de fosfolípidos o ácidos grasos poliinsaturados, y produce malos olores a bajas concentraciones. Además es un marcador del deterioro del flavor (Spanier et al, 1992). Aparecen también otros compuestos de esta familia, como son el octanal, heptanal y isobutanal, compuestos proceden de la oxidación de los ácidos linoléico y oleico Gasser y Grosch (1988).

En la familia de los Alcoholes Alifáticos, desaparecen el 1-propanol y el 1-octen-3-ol tras la congelación, compuestos que fueron detectados por otros autores en carne fresca (Acree and Aru, 1977)

Aparece una familia no detectada antes de la congelación, la familia de los terpenoides en la que aparece un solo compuesto, el limoneno

5.3.1. Efecto de la dieta y la congelación en los compuestos volátiles de los terneros sacrificados a 3 mm EDG

En la tabla 22 aparecen representadas las interacciones entre los efectos alimentación y congelación, además de la interacción de los mismos.

Tabla 21. Niveles de significación estadística de los factores alimentación, congelación y de la interacción alimentación x congelación en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico de muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica

Volátil	Congelación	Dieta	Dieta x congelación
Etanal	***	NS	NS
Etanol	*	NS	NS
2-propanona	**	NS	NS
2-tiapropano	-	NS	-
1-1'-oxibis etano	-	NS	-
Dimetilsulfuro	-	NS	-
Carbono disulfuro	NS	NS	NS
Isobutanal	-	NS	-
1-propanol	-	NS	-
2-metilpentano	-	NS	-
2,3-butanodiona	-	NS	-
2-butanona	NS	NS	NS
2-butanol	-	NS	-
3-metilheptano	-	NS	-
Octano	-	NS	-
Hexanal	-	NS	-
Heptanal	-	NS	-
1-octen-3-ol	-	NS	-
2,2,4,6,6,-pentametilheptano	-	NS	-
Octanal	-	NS	-
Nonanal	***	NS	NS

Niveles de significación: *p<0,05 **p<0,01 ***p<0,001

Solo aparecen en muestras congeladas

Solo aparecen en muestras sin congelar

El estudio estadístico sobre el efecto congelación sólo se puede llevar a cabo en los compuestos que se detectan tanto antes como tras la congelación: etanal, nonanal, etanol, 2-propanona, 2-butanona, carbono disulfuro.

En la tabla anterior se ve claramente como el efecto congelación afecta más al contenido en compuestos volátiles que el efecto dieta. Para el efecto de congelación de las muestras, tanto el etanal como el nonanal tienen un nivel de significación de p<0.001, por lo que este efecto es muy significativo. La 2-propanona, que como ya se ha dicho es el compuesto que mayor relevancia

tiene en las muestras por tener el mayor PRA, disminuyendo éste con la congelación, tiene un nivel de significación de $p < 0.01$.

El etanol también presenta significación para este efecto con un valor de $p < 0.05$.

Para la interacción dieta x congelación no se ha encontrado significación alguna.

La tabla 23 representa el efecto de la interacción de los efectos alimentación y congelación sobre el perfil de los compuestos volátiles de carne de terneros de Raza Pirenaica.

Tabla 22. Efecto de la interacción de la alimentación x congelación en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico de muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de Raza Pirenaica

		<i>Dieta TESTIGO</i>		<i>Dieta LINO</i>		<i>Dieta LINO + VIT E</i>		SIGNIFICACIÓN
		Media de las áreas	Media % áreas	Media de las áreas	Media % áreas	Media de las áreas	Media % áreas	
ALDHEÍDOS ALIFÁTICOS								
ETANAL	CONGELADO	1181,62	9,31	1301,41	8,73	1517,01	11,86	***
	SIN CONGELAR	210,07	1,1	231,04	0,98	238,13	1,07	***
	Error promedio		12,139		5,595		10,38	
	Significación		*		**		**	
NONANAL	CONGELADO	189,39	1,49	203,57	1,37	143,61	1,12	***
	SIN CONGELAR	21,31	0,11	59,09	0,25	14,46	0,07	NS
	Error promedio		0,199		0,422		0,103	
	Significación		*		*		**	
CETONAS ALIFÁTICAS								
2-PROPANONA	CONGELADO	6690,89	52,7	8114,07	54,42	6547,71	51,19	***
	SIN CONGELAR	14340,36	75,18	17353,09	73,92	16132,71	72,66	***
	Error promedio		33,797		69,033		89,297	
	Significación		NS		NS		NS	
2-BUTANONA	CONGELADO	1547,53	12,19	2423,70	16,26	2374,47	18,56	***
	SIN CONGELAR	3424,35	17,95	5105,70	21,75	5224,23	23,53	***
	Error promedio		71,371		22,784		68,313	
	Significación		NS		NS		NS	
COMPUESTOS AZUFRADOS								
CARBONO DISULFURO	CONGELADO	173,04	1,36	294,72	1,98	131,45	1,03	*
	SIN CONGELAR	478,13	2,51	145,51	0,62	23,22	1,05	**
	Error promedio		4,167		1,614		0,144	
	Significación		NS		NS		NS	
ALCOHOLES								
ETANOL	CONGELADO	99,43	0,78	185,70	1,25			***
	SIN CONGELAR	601,61	3,15	579,75	2,47	360,53	1,62	*
	Error promedio		0,25		1,497		-	
	Significación		*		NS			

Los resultados se analizan a continuación por familias:

En la familia de Aldehídos Alifáticos, tanto el etanal como el nonanal han aumentado su PRA debido al proceso de congelación, un aumento del contenido en etanal se ha asociado con olores desagradables (Shaidhi et others, 1986); además, ambos presentan significación tanto para los tres tipos de dieta como para el efecto congelación, salvo el nonanal que antes de la congelación no presenta significación. Aún así, en el resto, este efecto presenta un nivel de significación de $p < 0.001$. Ambos compuestos presentan un nivel de significación de $p < 0.05$ para la dieta testigo, de $p < 0.01$ para dieta de lino + Vit E. El etanal toma el valor de $p < 0.01$ para dieta lino, y el nonanal de $p < 0.005$ para la misma dieta.

La familia de Cetonas Alifáticas ocurre que 2-propanona y 2-butanona han visto disminuido su PRA de forma importante tras la congelación, aunque sigue teniendo un valor de PRA de gran relevancia respecto al total de compuestos. No se ha observado significación alguna para ningún tipo de dieta, sin embargo, para el efecto congelación en ambos compuestos y ambos estados (congelado y antes de congelar) se ha obtenido un nivel de significación de $p < 0.001$.

En la familia de Compuestos Azufrados, ocurre que el único compuesto perteneciente a esta familia es el carbono disulfuro y no presenta significación para el efecto dieta, apreciándose para el efecto congelación una significación de $p < 0.05$ en muestras congeladas y de $p < 0.01$ para muestras sin congelar.

El único compuesto a estudio la familia de Alcoholes Alifáticos es el etanol y se observa un descenso de su PRA debido al efecto de la congelación. Además no está presente en la dieta lino + Vit E y no es significativo para la dieta lino y toma un nivel de significación de $p < 0.05$ para la dieta testigo. Tiene una significación de $p < 0.001$ para las muestras congeladas, y de $p < 0.05$ para las muestras sin congelar.

Como conclusión final se puede observar el aumento de las áreas de los compuestos que son indicadores del deterioro del flavor y de la aparición de malos olores en carne; 2-tiapropano y etanal, y se detectó el hexanal, indicador de rancidez.

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

En la tabla 23 se muestra el efecto de la interacción de alimentación x congelación en los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico de terneros de Raza Pirenaica.

Tabla 23. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos volátiles detectados del análisis instrumental en las muestras de carne del músculo *longissimus dorsi* de terneros de la Raza Pirenaica en 3 mm de EDG

	Etanal	Etanol	2-propanona	Carbono disulfuro	2-butanona
Etanol	-0.393	-	-	-	-
2-propanona	-0.734**	0.282	-	-	-
Carbono disulfuro	0.113	0.201	0.150	-	-
2-butanona	-0.263	-0.198	-0.320	-0.434*	-
Nonanal	0.673**	-0.309	-0.636**	-0.515	-0.307

6. CONCLUSIONES



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 terneros de la Raza Pirenaica tras la congelación durante seis años, está constituido por compuestos volátiles de las siguientes familias: Aldehídos Alifáticos, Cetonas Alifáticas, Hidrocarburos Alifáticos (solo aparece en 4 mm EDG), Compuestos Azufrados, Alcoholes Alifáticos y Terpenoides. Los compuestos de mayor presencia han sido: 2-propanona, 2-tiapropano y 2-butanona.
2. Los terneros que se sacrificaron a mayor edad y que presentaron un EDG de 4 mm mostraron una composición más heterogénea de compuestos aromáticos que los sacrificados a menor edad y con EDG de 3 mm.
3. La incorporación del lino a las dietas de los terneros hizo que gurtasn detectados el 2,2,4,6,6-pentametilheptano y que aumentara el contenido en Cetonas Alifáticas especialmente en la carne de los terneros de. 3 mm de EDG
4. El transcurso del tiempo en congelación afectó al contenido y tipo de compuestos aromáticos estudiados observándose un incremento de Aldehídos Alifáticos y un descenso importante de la 2-propanona y 2-butanona.
5. La mayoría de los compuestos volátiles identificados en el presente estudio se han formado por oxidación lipídica y por la reacción de Maillard a partir de precursores de la fracción grasa de la carne como son los ácidos grasos cuyo contenido y composición depende de las diferencias en la alimentación y el grado de engrasamiento del animal con la edad al sacrificio.
6. La presencia de hexanal y el aumento del contenido en 2-tiapropano y etanal, indican el deterioro de la carne en congelación con el paso del tiempo al estar relacionados estos compuestos con la aparición de malos y anómalos olores.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✦ Aberle, E.D.; Forrest, J.C.; Gerrard, D.E.; Mills, E.W.; Hedrick, H.B.; Judge, M.D. and Merkel, R.A. (2001a). Growth and development of carcass tissues. In: Principles of Meat Science. (Eds. Aberle, E.D.; Forrest, J.C.; Gerard, D.E. & Mills, E.W.), pp. 45-67. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, Iowa, USA.
- ✦ Abbot, J.A. 1973. Sensory assessment of textural attributes of foods. En: Texture Measurements of Foods. Eds. A Kramer y A.S. Szczesniak. D. Reidel Publishing Co., Hingham, Massachussets.
- ✦ Abbott, M.T., Pearson, A.M., Price, J.F., Hooper, G.R. 1977. Ultrastructural changes during autolysis of red and white porcine muscle. J. Food Sci. 42, 1185-1188.
- ✦ Acree., & Aru, H. (1997) Flavomet. Gas chromatography-olfactometry (GCO) of natural products. Cornell University. <<http://nysaes.cornell.edu/flavomet/><. Acceded 22.06.2012
- ✦ Ackerman, D. 1990. A natural history of senses. Random House, New York.
- ✦ Adams, J.R. y Huffman, D.L. 1972. Effect of controlled gas atmospheres and temperature on quality packaged pork. J. Food Sci. 37, 869-375.
- ✦ AFNOR Association française de normalisation. 1988. Contrôle de la qualité des produits alimentaires: analyse sensorielle. Publication de l'Association Française de Normalisation, 100-121.
- ✦ Albertí, P. 2000. Determinación instrumental de la calidad de la carne. Medición del color. En: Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Coords. V. Cañeque y C. Sañudo. Monografías INIA: Ganadera Nº1, 11-16.
- ✦ Albertí, P.; Ripoll, G.; Goyache, F.; Lahoz, F.; Olleta, J.L.; Panea, B. and Sañudo, C. (2005). Carcass characterization of seven Spanish beef breeds slaughtered at two commercial weights. Meat Science 71: 514-521.
- ✦ Albertí, P., Sañudo, C., Santolaria, P., Negueruela, Y., Olleta, J.L., Mamaqui, E., Campo, M.M., 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. En: ITEA, 630-632, Zaragoza.
- ✦ Alfaia, C.P.M. ; Alves, S.P.A.; Martins, S.I.V. ; Costa, A.S.H.; Fontes, C.M.G.A.;Lemos, J.P.C.; Bessa, R.J.B. y Prates, J.A.M. (2009). Effect of the feeding system on intramuscular fatty acids and conjugated linoleic acid isomers of beef cattle, with emphasis on their nutritional value and discriminatory ability Food Chemistry 114, 939–946
- ✦ Amerine, M.A., Pangborn, R.M. Roessler, E.B. 1965. Principles of Sensory Evaluation of Food. Academic Press, New York.
- ✦ AMSA. 1978. Guidelines for cookery and sensory evaluation of meat. Am. Meat Sci. Assn. and Natl. Live Stock and Meat Board, Chicago.

- ✚ AMSA. 1995. Research Guidelines of Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat. Am. Meat Sci. Assoc. Chicago, Illinois.
- ✚ Anderson, N.H. 1970. Functional measurement and psychological judgement. Psychol. Rew. 77, 153-170.
- ✚ Anderson, N.H. 1974. Algebraic models in perception. En: Handbook of Perception. Vol.2. Eds. E.C. Carterette y M.P. Friedman. Academic Press, New York.
- ✚ Andersen, H.J.; Oksbjerg, N. and Therkildsen, M. (2005). Potential quality control tools in the production of fresh pork, beef and lamb demanded by the European society. Livestock Production Science 94: 105-124.
- ✚ Andersen, J.R.; Borggaard, C.; Rasmussen, A.J. and Houmøller, L.P. (1999). Optical measurements of pH in meat. Meat Science 53: 135-141.
- ✚ Anzaldúa-Morales, A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✚ Anzaldúa-Morales, A. y Brennan, J.G. 1984a. La medición de la textura de frutas y verduras. I. Frutas y verduras frescas. Tecnol. Aliment. 19(2), 22-30.
- ✚ Anzaldúa-Morales, A. y Brennan, J.G. 1984b. La medición de la textura de frutas y verduras. II. Frutas y verduras procesadas por el calor. Tecnol. Aliment. 19(2), 30-38.
- ✚ Anzaldúa-Morales, A., Lever, C., Vernon, E.J. 1983. Nuevos métodos de evaluación sensorial y su aplicación en reología y textura. Tecnol. Aliment. 18(5), 4-15.
- ✚ Anzaldúa-Morales, A. y Vernon, E.J. 1984. Design of standard scales for some textural properties of Mexican Foodstuffs. Adv. in Rheol. 4,132-142.
- ✚ Asenjo, B. (1999). Efecto de la raza y de la alimentación en los parámetros productivos y de calidad de canal y de carne en añojos de razas charolés y serrana soriana. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. España.
- ✚ ASTM 1968. Committe E-18. En: Manual on Sensory Testing Methods STP 434. Amer. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia.
- ✚ ASTM 1981. Committee E-18. Guidelines for the Selection and Training of Sensory Panel Members. Special technical publication 758. Philadelphia.
- ✚ ASTM. 1992. Manual on Descriptive Analysis Testing for Sensory Evaluation. Ed. R.C. Hootman. ASTM Manual 13. Philadelphia.
- ✚ ASTM. 1996. Sensory testing methods, 2nd ed. Eds. E. Chambers, M. Baker Wolf. ASTM Manual 26. Philadelphia.
- ✚ Banfield, C.F. y Harries, J.M. 1975. A technique for comparing judges performance in sensory test. J. Food Technol. 10(1), 1-9.

- ♣ Belitz, H.D. y Grosch, W. (1992). Química de los alimentos, 2ª edición. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ♣ Belitz, H.D., (1987). Lipids in Food Chemistry. H.D. Belitz and W. Grosch, ED. Spring Verlag co., New York
- ♣ Bendall, J.R. 1961. Post mortem changes in muscle. En: The Structure and Function of Muscle. Ed. G.H. Bourne. Academic Press, New York.
- ♣ Bendall, J.R. 1973. The biochemistry of rigor mortis and cold contracture. Proc. Eur. Meet. Meat Res. Workers 19, 1-27.
- ♣ Bendall, J.R. 1980. The electrical stimulation of carcasses of meat animals. En: Developments in Meat Science-1. Ed. R.A. Lawrie. Applied Science Publishers, London.
- ♣ Bendall, J.R., Hallund, O., Wismer-Pedersen, J. 1963. Post mortem changes in the muscles of Landrace pigs. J. Food Sci. 28, 156-162.
- ♣ Bendall, J.R., Ketteridge, C.C., George, A.R. 1976. The electrical stimulation of beef carcasses. J. Sci. Food Agric. 27, 1123-1131.
- ♣ Beriaín, M.J. y Lizaso, G. (1998). Calidad de la carne de vacuno. En: Vacuno de Carne: Aspectos Claves (Coord. Buxadé, C.), pp. 495-510. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- ♣ Berg, R.T. y Butterfield, R.M. (1979). Modelos de crecimiento de la musculatura, grasa y huesos. En: Nuevos Conceptos sobre Desarrollo de Ganado Vacuno, pp. 30-67. Acribia, Zaragoza, España.
- ♣ Berg, R.T.; Andersen, B.B. and Liboriussen, T. (1978). Growth of bovine tissues: Genetic influences on patterns of fat growth and distribution in young bulls. Animal Production 27: 63-69.
- ♣ Bird, J.W.C., Carter, J.H., Triemer, R.E., Brooks, R.M., Spanier, A.M. 1980. Proteinases in cardiac and skeletal muscle. Fed. Proc., Fed. Am. Soc. Exp. Biol. 39, 20-34.
- ♣ Boccard, R. y Bordes, P. 1986. Caractéristiques qualitatives et technologiques des viands bovines: influence des facteurs de production. Production Des Viandes Bovines. 61-84. INRA, Paris.
- ♣ Boccard, R., Buchter, L., Casteels, E., Consentino, E., Dransfield, E., Hood, D.E., Joseph, R.L., Macdougall, D.B., Rhodes, D.N., Schön, I., Tinbergen, B.J., Touraille, C. 1981. Procedures for measuring meat quality characteristics in beef production experiments. Report of a working group in the Commission of the European Communities (CEC) Beef production research programme. Livest. Prod. Sci. 8, 385-397.
- ♣ Boccard, R., Naudé, R.T., Cronje, D.E., Smith, M.C., Venter, H.J., Rossouw, E.J. 1979. The influence of the age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics. Meat Sci. 3, 261-268.

- ✦ Bocard, R., Valin, C., Bonaiti, B. 1980. Effect of genotype on pigment, lipid content of the *longissimus dorsi* muscle in young bulls. 26th European Meet. of Meat Res. Workers. 1, 271-274. Colorado, USA.

- ✦ Bodwell, C.E. 1977. Evaluation of proteins for humans. Avi Publ. Co., Wesport, Connecticut.

- ✦ Bodwell, C.E., Adkins, J.S., Hopkins, D.T. 1981. Protein quality in humans: Assessment and in vitro estimation. Avi Publ. Co., Wesport, Connecticut.

- ✦ Bodwell, C.E. y Anderson, B.A. 1986. Nutritional composition and value of meat and meat products. En: Muscle as Food. Food Science and Technology. Ed. P.J. Bechtel. Series ed. B.S. Schweigert. Academic Press, Inc. New York.

- ✦ Bodwell, C.E. y McClain, P.E. 1971. Chemistry of animal tissues. Proteins. En: The Science of Meat and Meat Products. Eds. J.F. Price y B.S. Schweigert. San Francisco.

- ✦ Bodwell, C.E. y Pearson, A.M. 1964. The activity of partially purified catheptic enzymes of various natural and synthetic substrates. J. Food Sci. 29, 602-609.

- ✦ Bodwell, C.E., Pearson, A.M., Spooner, M.E. 1965. Post mortem changes in muscle. I. Chemical changes in beef. J. Food Sci. 30, 766-780.

- ✦ Bodwell, C.E. y Womack, M. 1978. Effects of heating methods on protein nutritional value of five fresh or frozen prepared food products. J. Food Sci. 43, 1543-1549.

- ✦ Boleman, S.J., Boleman, S.L., Miller, R.K., Taylor, J.F., Cross, H.R., Wheeler, T.L. Koochmarai, M., Shackelford, S.D., Miller, M.F., West, R.L., Johnson, D.D., Savell, J.W. 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. J. Anim. Sci. 75, 1521-1524.

- ✦ Bourne, M.C. 1978. Texture Profile Analysis. Food Technol. 32, 62-66.

- ✦ Bourne, M.C. 1982. Food Texture and viscosity: Concept and measurement. Academic Press., New York.

- ✦ Bourne, M.C. 1996. Measure of shear and compression components of puncture tests. J. Food Sci. 31, 282-291.

- ✦ Bourne, M.C., Sandoval, A.M.R., Villalobos, M., Buckle, T.S. 1975. Training a sensory texture profile panel and development of standard rating scales in Colombia. J. Text. Stud. 6, 43-54.

- ✦ Bouton, P.E., Fisher, A.L., Harris, P.V., Baxter, R.I. 1973. A comparison of the effects of some post-slaughter treatments on the tenderness of beef. J. Food Technol. 8, 389-49.

- ✦ Bouton, P.E., Ford, A.L., Harris, P.V., Ratcliff, D. 1975. Objective-subjective assesment on meat tenderness. J. Texture Studies 6, 217-228.

- ✦ Bouton, P.E., Ford, A.L., Harris, P.V., Ratcliff, D. 1981. Effect of cooking temperature and time on the shear properties of meat. J. Food Sci. 46, 1082-1087.
- ✦ Bouton, P.E., Ford, A.L., Harris, P.V., Shorthose, W.R. 1975a. Changes in shear parameters of meat associated with structural changes produced by aging, cooking and myofibrillar contraction. J. Food Sci. 40, 1122-1126.
- ✦ Bouton, P.E., Harris, P.V., Shorthose, W.R. 1971. Effect of ultimate pH upon the water holding capacity and tenderness of mutton. J. Food Sci. 36, 435-440.
- ✦ Brazal, T. 1975. El color de la carne. Concepto, determinación, factores de variación. *Cárnica* 2000 23, 20-29.
- ✦ Brazal, T. y Boccard, R. 1977. Efectos de dos tratamientos ante mortem sobre la calidad de la canal y de la carne de cordero. *Anales del INIA. Prod. Anim.* 8, 97-125.
- ✦ Brennan, J.G. 1980. Measurement of food texture. En: *Advances in food analysis*. Eds. N.D. King y R.L. Kenchington. Applied Science Publishers. Londres.
- ✦ Brennan, J.G. 1984. Texture perception and measurement. En: *Sensory Analysis of Foods*. Ed. J.R. Piggott. Elsevier Applied Sci. Publishers, London.
- ✦ Bewer MS, Vega ID. 1995. Detectable odor thresholds of selected lipid oxidation compounds in a meat model system. *J. Food Sci* 60:592-595
- ✦ Brewer M. Susan, Ph.D., Department of Food Science and Human Nutrition, University of Illinois. "The Chemistry of Beef Flavor" December, 2006
- ✦ Briskey, E.J.; Bray, R.V.; Hoekstra, W.G.; Philleps, P.H. and Grummer, R.H. (1959). The effects of exhaustive exercise and high sucrose regime on certain chemical and physical pork ham muscle characteristics. *Journal of Animal Science* 18: 173.
- ✦ Bruns, K.W.; Pritchard, R.H. and Boggs, D.L. (2004). The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *Journal of Animal Science* 82: 1315-1322.
- ✦ Brunsø, K.; Bredahl, L.; Grunert, K.G. and Scholderer, J. (2005). Consumer perception of the quality of beef resulting from various fattening regimes. *Livestock Production Science* 94: 83-93.
- ✦ Callow, E.H. (1947). Comparative studies of meat. The chemical composition of fatty and muscular tissue in relation to growth and fattening. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 37: 113-129.
- ✦ Calvo, C. (2000). Estudio del crecimiento y de las características de la canal y de la carne del ternero Rubio Gallego acogible a las primas de la PAC en rebaños de vacas nodrizas. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. España.
- ✦ Cameron, N.D.; Enser, M.; Nute, G.R.; Whittington, F.M.; Penman, J.C.; Fisker, A.C.; Perry, A.M. y Wood, J.D. (2000). Genotype with nutrition interaction on fatty acid and

composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat. *Meat Science* 55, 187-195

- ✦ Campo, M.M.; Monsón, F.; Panea, B.; Sañudo, C.; Olleta, J.L.; Albertí, P.; Ertbjerg, P.; Christiansen, M.; Gigli, S.; Failla, S.; Gaddini, A.; Hocquette, J.F.; Jailler, R.; Nute, G.R. y Williams, J.L. (2005). Valoración subjetiva y objetiva del engrasamiento de la canal en diferentes razas bovinas europeas sacrificadas a peso comercial. *ITEA. Vol. Extra 26: 726-728.*
- ✦ Capillo Álvarez, J.E. y De Arcos Nieto-Guerrero, R. (2001). Valor nutritivo de la carne. La carne en la dieta humana. Implicaciones sanitarias del consumo de carne. En: *Enciclopedia de la Carne y de los Productos Cárnicos* (Coord. Martín Bejarano, S.), pp. 569-584. Martín & Macías, Cáceres, España.
- ✦ 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.
- ✦ Carlin, A.F. y Harrison, D.L. 1978. Cooking and sensory methods used in experimental studies on meat. *Natl. Live Stock and Meat Board, Chicago.*
- ✦ Cassens, R.G. 1971. Microscope structure of animal tissues. En: *The Science of Meat and Meat Products 2ª ed.* Eds. J.F. Price y B.S. Schweigert. W.H. Freeman and Company San Francisco.
- ✦ Caul, J.F. 1957. The profile method of flavor analysis. *Advan. Food Res.* 7, 1-10.
- ✦ Cerdeño, A.; López, J.; Gómez, A.; Serrano, E. y Mantecón, A.R. (2001). Características de la carne de buey de las razas: Asturiana de los Valles, Limusín y Parda. *ITEA. Vol. Extra 23: 532-534.*
- ✦ Cha, y.J.; Baek, H.H.; and Hsieh, T.C.y. (1992). Volatile components in flavor concentrates from crayfish processing waste. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58, 239-248.
- ✦ Chasco J., Lizaso G., Beriain M.J., Horcada A., Goirraiz C., Hernández B., Mendizábal J.A., Mendizábal F.J., Purroy A. 1995. Efecto de la maduración a vacío en el color de la carne de ternera de raza Pirenaica. *VI Jornadas Producción Animal. AIDA, Zaragoza. ITEA, vol. extra (16), 621-623.*
- ✦ Chen, D.W. y Zhang, M. (2007). Non-volatile taste active compounds in meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Food Chemistry* 104, 1200-1205
- ✦ Choun, H.S., Kinsman, D.M., Hall, K.N., Hoagland, T.A. 1986. Comparison of palability characteristics of rib eye steaks by grades, cooked by conventional oven broiling and microwave cookery. En: *32th Eur. Meet. Meat Res. Workers, Vol. 7, 12-16.*
- ✦ Chung, H.y. y Cadwallader, K.R. (1994). Volatile components in blue crab meat and processing by-product. *Journal of Food Science* 6, 1203-1207.
- ✦ Clydesdale, F. 1991. Colour perception and food quality. *J. Food Quality* 14, 61-74.

- ✦ Clydesdale, F.M. y Francis, F.J. 1971. The chemistry of meat colour. Food Prod. Dev. 5, 81-84.
- ✦ Corl, B.A.; Barbano, D.M.; Bauman, D.E. and Ip, C. (2003). Cis-9, trans-11 CLA derived endogenously from trans-11 18:1 reduces cancer risk in rats. Journal of Nutrition 133: 2893-2900.
- ✦ Costell, E. y Durán, L. 1981. El análisis sensorial en el control de la calidad de los alimentos. I. Introducción. II. Planteamiento y planificación: selección de pruebas. III. Planificación, selección de jueces y diseño estadístico. IV. Realización y análisis de datos. Rev. Agroquim. Technol. Aliment. 21(4), 454-475.
- ✦ Cramer, D.A. 1983. Chemical compounds implicated in lamb flavor. Food Technol. 35(5), 264-268.
- ✦ Cross, H.R., Carpenter, Z.L., Smith, G.C. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. J. Food Sci. 38, 998-1003.
- ✦ Cross, H.R. 1977. Effects of amount, distribution and texture of marbling on cooking properties of beef Longissimus. J. Food Sci. 42, 182-185.
- ✦ 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.
- ✦ Cross, H.R., Moen, R., Stanfield, M.S. 1978a. Training and testing of judges for sensory analysis of meat quality. Food Tech. 32, 48-55.
- ✦ Cross, H.R., Smith, G.C., Carpenter, Z.L. 1972. Palatability of individual muscles from ovine leg steaks as related to chemical and histological traits. J. Food Sci. 37, 282-285.
- ✦ Cross, H.R., Stanfield, M.S., Elder, R.S. 1979. Comparison of roasting versus broiling on the sensory characteristics of beef *longissimus*. J. Food Sci. 44, 310-314.
- ✦ Cross, H.R. 1994. Características organolépticas de la carne. Parte 1. Factores sensoriales y evaluación. En: Price, J.F., Schweigert, B.S. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✦ Crouse, J.D. 1983. The effects of breed, sex, slaughter, weight and age on lamb flavor. Food technol. 37(5), 264-269.
- ✦ Crouse, J.D., Cross, H.R., Seideman, S.C. 1985. Effects of sex condition, genotype, diet and carcass electrical stimulation on the collagen content and palatability of two bovine muscles. J. Anim. Sci. 60(5), 1228-1234.
- ✦ Dainty RH, Edwards RA, Hibbard CM, Marnenwick JJ. 1989. Volatile compounds associated with microbial growth on normal and high pH beef stored and chill temperatures. J Appl Bact 66:281-289

- ✦ Daszkiewicz, T.; Wajda, S. and Matusевич, P. (2003). Changing of beef quality in the process of storage. *Veterinarija Ir Zootechnika* 21: 62-65.
- ✦ Davey, C.L. y Gilbert, K.V. 1973. The effect of carcass posture on cold, heat and thaw shortening in lamb. *J. Food Technol.* 8, 445-452.
- ✦ Davey, C.L. y Gilbert, K.W. 1974. Temperature-dependent cooking toughness in beef. *J. Sci. Food Agric.* 25(8), 931-938.
- ✦ Davey, C.L. y Winger, R.J. 1979. En: *Fibrous Proteins: Scientific, Industrial and Medical Aspects*. Eds. D.A.D. Perry y L.K. Creamer. Vol. 1, 17. Academic Press, New York.
- ✦ Davis, G.W., Dutson, T.R., Smith, G.C., Carpenter, Z.L. 1980. Fragmentation procedure for bovine longissimus muscle as an index of cooked steaks tenderness. *J. Food Sci.* 45,880-886.
- ✦ Dayton, W.R., Goll, D.E., Zeece, M.G., Robson, R.M., Reville, W.J. 1976. A Ca²⁺ activated protease possibly involved in myofibrillar protein turnover. Purification from porcine muscle. *Biochem.* 15, 2150-2158.
- ✦ Destefanis, G.; Brugiapaglia, A.; Barge, M.T. and Lazzaroni, C. (2003). Effect of castration on meat quality in Piemontese cattle. *Meat Science* 64: 215-218.
- ✦ Dikeman, M.E. (1987). Fat reduction in animals and the effects on palatability and consumer acceptance of meat products. *Reciprocal Meat Conference* 40: 93-103.
- ✦ Dikeman, M.E.; Reddy, G.B.; Arthaud, V.H.; Tuma, H.J.; Koch, R.M.; Mandigo, R.W. and Axe, J.B. (1986). Longissimus muscle quality, palatability and connective tissue histological characteristics of bulls and steers fed different energy levels and slaughtered at four ages. *Journal of Animal Science* 63: 92-101.
- ✦ Dios, A. (2000). Parámetros de calidad del ternero de raza Rubia Gallega pura y cruzada con Holstein. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. España.
- ✦ Downey, G. and Hildrum, K.I. (2004). Analysis of Meats. In: *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture* (Eds. Al-Amoodi, L.; Craig, R.; Workman, J. & Reeves III, J.), pp. 599-632. American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., Soil Science Society of America Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- ✦ Dransfield, E. 1977. Intramuscular composition and texture of beef muscles. *J. Sci Food Agric.* 28, 833-842.
- ✦ Dransfield, E., Etherington, D.J., Taylor, M.A.J. 1992. Modelling post mortem tenderisation II: Enzyme changes during storage of electrically stimulated and non stimulated beef. *Meat Sci.* 31, 75-84.
- ✦ Dransfield, E., Francombe, M.A., Whelehan, O.P. 1984b. Relationships between sensory attributes in cooked meat. *J. Text. Stud.* 15, 33-48.

- ✦ Dransfield, E., Geoffrey, R., Nute, G.R., McDougall, D.B., Rhodes, D.N. 1979. The effect of breed on eating quality of cross breed lambs. *J. Sci. Food Agric.* 30, 805-808.
- ✦ Dransfield, E., Nute, G.R., Francombe, M.A. 1984a. Comparison of eating quality of bull and steer beef. *Anim. Prod.* 39, 37-50.
- ✦ Dransfield, E., Nute, G.R., Hogg, B.W., Walters, B.R. 1990. Carcass and eating quality of ram, castrated ram and ewe lambs. *Anim. Prod.* 50, 291-299.
- ✦ Dransfield, E., Rhodes, D.N., Nute, G.R., Roberts, T.A., Boccard, R., Touraille, C., Buchter, L., Hood, D.E., Joseph, R.L., Schon, I., Casteels, M., Consentino, E., Tinbergen, B.J. 1982. Eating quality of European beef assessed at five research institutes. *Meat Sci.* 6, 163-184.
- ✦ Dunn, A.A., Kilpatrick, D.J., Gault, F.S. 1993. Influence of ultimate pH, sarcomere length and cooking loss on the textural variability of cooked M. Pectoralis major from free range and standard broilers. *Brit. Poultry Sci.* 34, 663-675.
- ✦ Elías, J.A.; Gaskins, C.T.; Busboom, J.R.; Duckett, S.K.; Cronrath, J.D. and Reeves, J.J. (2000). Sire variation in fatty acid composition of crossbred Wagyu steers and heifers. *Meat Science* 56: 23-29.
- ✦ Elmore, J.S.; Campo, M.M.; Enser, M. y Mottram, D. (2002). Effect of Lipid Composition on Meat-Like Model System Containing Cysteine, Ribose and Polyunsaturated fatty acids. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 50, 1126-1132
- ✦ Frankel, E. N. (1982). Volatile lipid oxidation products. *Progress in Lipid Research*, 22, 1-33.
- ✦ Forrest, J.C., Aberle, E.D., Hedrick, H.B., Judge, M.D., Merckel, R.A. 1975. *Principles of Meat Science*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- ✦ Forss DA. 1972. Odour and flavor compounds from lipids. *Prog Chem Fats Oth Lipid* 13:177-258
- ✦ García, C.; Berdagué, J.J.; Antequera, T; López-Bote, C. ; Córdoba, J.J. y Ventanas, J. (1991). Volatile components of dry cured Iberian ham. *Food Chemistry* 41, 23-32
- ✦ Garrido, M.D. y Bañón, S. (2001). Medida del pH. En: *Monografías INIA: Ganadera N.1. Metodología para el Estudio de la Calidad de la Canal y de la Carne de Rumiantes* (Coods. Cañeque, V. & Sañudo, C.), pp. 145-155. Ed. MCyT- INIA, Madrid, España.
- ✦ Gasser, U., y Grosch, W. (1988). Identification of volatile xavour compounds with high aroma values from cooked beef. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung A*, 186, 489-494.
- ✦ Glitsch, K. 1997. Consumer behaviour towards meat in the EU: A preliminary Statistical Analysis. En: *Proc. 4th Meeting of EU Project Partners, The National Food Centre, Dublin.*

- ✦ Gorraiz, C., Beriain, M.J., Chasco, J., & Insausti, K. (2002). Effect of aging time on volatile compounds, aroma and flavour of cooked beef from Pirenaica and Friesian breed bulls and heifers. *Journal of food science*, 67 , 916-922
- ✦ 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.
- ✦ 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.
- ✦ Goutenfoega, R. y Valin, C. 1976. Etude comparée de la saveur des viandes de vaches et de taurillons. Relation entre la composition du muscle et la saveur de la viande. *European Meet. of Meat Res. Workers*, 22. Malmö. Swedish Meat Research Centre, Vol I, A8:1-12.
- ✦ Grosch, W. (1987). Reactions of hydroperoxides – products of low molecular weight. In H. W.-S. Chan (Ed.), *Autoxidation of unsaturated lipids* (pp. 95–139). London: Academic Press
- ✦ Grundy, S.M. (1986). Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering cholesterol. *New England Journal of Medicine* 314: 745-748.
- ✦ Hamm, R. 1966. Heating of muscle systems. En: *The Physiology and the Biochemistry of Muscle as Food*, 1. Eds. E.J. Briskey, R.G. Cassens y J.C. Trautman. Univ. of Wisconsin Press, Madison.
- ✦ Hamm, R. 1975. On the rheology of minced meat. *J. Text. Stud.* 6, 281-292.
- ✦ Hamm, R. 1977a. Post mortem breakdown of ATP and glycogen in ground muscle, a review. *Meat Sci.* 1, 15-39.
- ✦ Hamm, R. 1977b. En: *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*. Eds. T. Hoyem y O. Kvale. Elsevier. Applied Science Publ., Londres.
- ✦ Hamm, R. 1981. Post mortem changes in muscle affecting the quality of comminuted meat products. En: *Developments in Meat Science-2*. Ed. R.A. Lawrie. Elsevier. Applied Science Publishers, London.
- ✦ Hamm, R. 1982. Post-mortem breakdown of ATP and glicogen in ground muscle. *Food Technol.* 36(11), 105-110.
- ✦ Hamm, R. 1986. *Functional Properties of the Miofibrilar System and their Measurements*. En: *Muscle as Food*. Ed. P.J. Bechtel. Academic Press, New York.
- ✦ Harries, J.M., Rhodes, D.N., Chrystall, B.B. 1972. Meat Texture. I. Subjective assessment of the texture of cooked beef. *J. Sci. Food Agric.* 3, 101-114.

- ✦ Hocquette, J.F.; Renand, G.; Levéziel, H.; Picard, B. and Cassar-Malek, I. (2005). Genetic effects on beef meat quality. In: *The Science of Beef Quality*. 8th Annual Langford. Food Industry Conference. Proceedings of the British Society of Animal Science, May 18th- 19th, pp. 13-20. BSAS, Langford, Bristol, UK.
- ✦ Hornstein, I.; Crowe, P.F. and Sulzbacher, W.L. (1960). Constituents of meat flavour. *Beef*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 8: 65-70.
- ✦ Hönikel, K.O. 1987. How to measure the water-holding capacity of meat?. Recommendation of standardized methods. En: *Evaluation and control of meat quality in pigs*. Eds. Tarrant, P.V., Eikelenboom, G., Monin, G. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.
- ✦ Hönikel, K.O. 1996. Reference methods for determining the physical characteristics of meat. *Meat Focus Int.* March, 85-88.
- ✦ Hönikel, K.O. 1997. Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. *Food Chem.* 59(4), 573-582.
- ✦ Hönikel, K.O. 1998. Reference methods for assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49, 447-457.
- ✦ Hönikel, K.O., Kim, G.J., Hamm, R. 1986. Sarcomere shortening of prerigor muscles and its influence on drip loss. *Meat Sci.* 16, 267-282.
- ✦ Hönikel, K.O. and Hamm, R. (1999). Measurement of water-holding capacity and juiciness. In: *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. *Advances in Meat Research Series* (Eds. Pearson A.M. & Dutson, T.R.), pp. 125-161. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland, USA.
- ✦ Hood, D.E. y Riordan, E.B. 1973. Discoloration in pre-packaged beef measurement by reflectance spectrophotometry and shopper discrimination. *J. Food Technol.* 8, 333-343.
- ✦ 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 tissue lipids. *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.
- ✦ Howat, P.M., Gros, J.N., McMillin, K.W., Saxton, A.M., Hoskins, F. 1987. A comparison of beef blade roast cooked by microwave, microwave-convection and conventional oven. *J. Microwave Power Electromagn. Energy* 22(2), 95-98.

- ✦ Hsieh, T.C.y.; Vejaphan, W.; Williams, S.S. y Matiella, J.E. (1989). Volatile flavor components in thermally processed Louisiana red swamp crayfish and blue crab. En: Thermal Generation of aromas. Eds. T.H. Parliament, R.J. McGorin y C.T. Ho. ACS Symposium series 409, American Chemical Society, Washington D.C., EE.UU.
- ✦ Hultin, H.O. 1985. Characteristics of muscle tissue. En: Food Chemistry. Ed. O.R.Y. Fennema. Marcel Dekker, Inc., New York.
- ✦ Insausti, K.; Goñi, V.; Petri, E.; Gorraiz, C. & Beriain, M.J. (2005). Effect of weight at slaughter on the volatile compounds of cooked beef from Spanish cattle breeds. Meat Science 70, 83–90
- ✦ Jennings, T.G., Berry, B.W., Joseph, A.L. 1978. Influence of fat thickness, marbling and length of aging on beef palability and shelf-life characteristics. J. Anim. Sci, 46, 658-664.
- ✦ Jurie, C.; Picard, B.; Gigli, S.; Alberti, P.; Sañudo, C.; Levéziel, H.; Williams, J. and Hocquette, J.F. (2004). Metabolic and contractile characteristics of longissimus thoracis muscle of young bulls from 8 European breeds. Rencontres Recherches Ruminants 11: 121.
- ✦ Jiménez-Colmenero, F.; Carballo, J. and Cofrades, S. (2001). Healthier meat and meat products: their role as functional foods. Meat Science 59: 5-13.
- ✦ Kanda, T., Pearson, A.M., Merckel, R.A. 1977. Influence of pH and temperature upon calcium accumulation and release by bobine sarcoplasmic reticulum. Food Chem. 2, 253-266.
- ✦ Kato, H. y Nishimura, T. (1987). Taste compounds and conditioning beef, pork and chicken. En: Kawamura, y.; Kare, M.R, ed. Umami: A basic taste. New york: Marcel Dekker: 289-306.
- ✦ Kauffman, R.G. y Marsh, B.B. 1994. Características de calidad del músculo como alimento. En: Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Price, J.F., Schweigert, B.S. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✦ Kawai, M.; Okiyama, A. y Ueday, U. (2002). Taste enhancements between various amino acids and IMP. Chemical senses 27, 739-745
- ✦ Kazala, E.C.; Lozeman, F.J.; Mir, P.S.; Laroche, A.; Bailey, D.R.C. and Weselake, R.J. (1999). Relationship of fatty acid composition to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle. Journal of Animal Science 77: 1717-1725.
- ✦ Keys, A. (1970). Coronary heart disease in seven countries. Circulation 41: 1-211.
- ✦ Kirton, A.H., Winger, R.J., Dobbie, J.L., Duganzich, D.M. 1983. Palatability of meat from electrically stimulated carcasses of yearling and older entire-male and female sheep. J. Food Technol. 18, 639-649.
- ✦ Koohmaraie, M. 1992. Muscle proteinases and meat aging. En: 38th International Congress of Meat Science and Technology, Vol. 1, 61. Clermont-Ferrand, Francia.

- ✦ Koohmaraie, M., Shackelford, S., Veiseth, E. and Wheeler, T. (2002). Tenderness and muscle growth: is there any relationship. *Meat Science* 62: 345 - 352.
- ✦ Koutsidis, G.; Elmore, J.S.; Oruna-Concha, M.J.; Campo, M.M.; Wood, J.D. y Mottram, D.S. (2008). Water-soluble precursors of beef flavour. Part II: Effect of postmortem conditioning. *Meat Science* 79, 270-277
- ✦ Kramlich, W.E., Pearson, A.M., Tauber, F.W. 1973. *Processed Meats*. Avi Publ. Co. Westport, Connecticut.
- ✦ Krammer, A. 1994. Use of colour measurements in quality control of food. *Food Technol.* 48, 63-71.
- ✦ Krammer, A. y Twigg, B. 1972. *Quality control in the food industry*. The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut.
- ✦ 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
- ✦ Lawrence, T.L.J. and Fowler, V.R. (1997). Tissues. In: *Growth of Farm Animals* (Eds. Lawrence, T.L.J. & Fowler, V.R.), pp. 26-101. CAB International, Wallingford, UK.
- ✦ Lawrie, R.A. (1961). Studies on the muscles of meat animals I. Differences in composition of beef longissimus dorsi muscles determined by age and anatomical location. *Journal of Agricultural Science* 56: 249-259.
- ✦ Lawrie, R.A. 1966. The eating quality of meat. En: *Meat Science*. Pergamon Press, London.
- ✦ Lawrie, R.A. 1981a. *Developments in Meat Science-2*. Elsevier Applied Science Publishers, London.
- ✦ Lawrie, R.A. 1981b. *Advances in Hot Meat Processing*. Lect., IUFOST Symp. Rydzyna, Polonia.
- ✦ Lawrie, R.A. (1998). Constitución química y bioquímica del músculo. En: *Ciencia de la Carne*, pp. 67-108. Acribia, Zaragoza, España.
- ✦ Lawrie, R.A. 1982. The flavour of meat and meat analogues. *Food Flavour. Ingred. Packag. Process.* 4(2), 11-14.
- ✦ Lawrie, R.A. 1983. Aspects of the biochemistry of meat. *Int. J. Biochem.* 12, 233-245.
- ✦ Lawrie, R.A. 1998. *Ciencia de la carne*. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✦ Litwinczuk, A.; Barłowska, J.; Pieróg M.; Ryszkowska-Siwko, M. and Nowakowska, J. (2001). Changes in meat quality of commodity hybrid bull-calves from half-intense fattening during 14-day ripening period. *Polish Journal of Food and Nutrition Science* 10/51: 216-218.

- ✦ Lively, F.O.; Keady, T.W.J.; Moss, B.W.; Patterson, D.C. and Kilpatrick, D.J. (2005). The effect of genotype and pelvic hanging technique on meat quality. In: The Science of Beef Quality. 8th Annual Langford. Food Industry Conference. Proceedings of the British Society of Animal Science, May 18th-19th, pp. 59-60. BSAS, Langford, Bristol, UK.
- ✦ Locker, R.H. 1959. Striation patterns of ox muscle in rigor mortis. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* 6, 419-424.
- ✦ Locker, R.H. 1960. Degree of muscular contraction as a factor in tenderness of beef. *Food Res.* 25, 304-307.
- ✦ Locker, R.H., Davey, C.L., Nottingham, P.M., Haughey, D.P., Law, N.H. 1975. New concepts in meat processing. *Adv. Food Res.* 21, 157-222.
- ✦ Locker, R.H. y Hagyard, C.J. 1963. A cold shortening effect in beef muscles. *J. Sci. Food Agric.* 14, 787-790.
- ✦ Lorenz, S.; Buettner, A.; Ender, K.; Nürnberg, G.; Papstein, H.; Schieberle, P. and Nürnberg, K. (2002). Influence of keeping system on the fatty acid composition in the longissimus muscle of bulls and odorants formed after pressure-cooking. *Europe Food Research and Technology* 214: 112-118.
- ✦ Machiels, D.; van Ruth, S.M.; Posthumus, M.A.; Istasse, L. (2003). Gas chromatography-olfactometry analysis of the volatile compounds of two commercial Irish beef meats. *Talanta* 60, 755-764
- ✦ Machiels, D.; Istasse, L. y van Ruth, S.M. (2004). Gas chromatography-olfactometry analysis of beef meat originating from differently fed Belgian Blue, Limousine and Aberdeen Angus Bulls. *Food Chemistry* 86, 377-383
- ✦ Machlik, S.M. y Draudt, H.N. 1963. The effect of heating time and temperature on the shear of beef semitendinosus muscle. *J. Food Sci.* 28, 711-714.
- ✦ Maher, S.C.; Mullen, A.M.; Moloney, A.P.; Drennan, M.J.; Buckley, D.J. and Kerry, J.P. (2004). Colour, composition and eating quality of beef from the progeny of two Charolais sires. *Meat Science* 67: 73-80.
- ✦ 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.
- ✦ Marsh, B.B. 1977. The basis of tenderness in muscle foods. *J. Food Sci.* 42, 295-305.
- ✦ Marsh, B.B. y Carse, W.A. 1974. Meat tenderness and the sliding-filament hypothesis. *J. Food Technol.* 9, 129-139.
- ✦ Marsh, B.B., Cassens, R.G., Kauffman, R.G., Briskey, E.J. 1972. Hot boning and meat tenderness. *J. Food Sci.* 37, 179-188.

- ✦ Marsh, B.B. y Leet, N.G. 1966. Studies in meat tenderness. III. The effects of cold shortening on tenderness, *J. Food Sci.* 31, 450-458.
- ✦ Marsh, B.B. Lochner, J.V., Takahashi, G., Kragness, D.D. 1980. Effects of early post mortem pH and temperature on beef tenderness. *Meat Sci.* 5, 479-483.
- ✦ Marsh, B.B. y Thompson, J.F. 1958. Rigor mortis and thaw rigor in lamb. *J. Sci. Food Agric.* 9, 417-424.
- ✦ Marsh, B.B., Woodhams, P.R., Leet, N.G. 1968. Studies on meat tenderness. V. Effects of carcass cooling and freezing before completion of rigor mortis. *J. Food Sci.* 33, 12-19.
- ✦ Mckeith, F.K.; Lan, Y.H. and Beermann, D.H. (1994). Sensory characteristics of meat from animals given partitioning agents. In: *Low-Fat Meats Design Strategies and Human Implications* (Eds. Hafs, H.D. & Zimbelman, R.G.), pp. 233-252. Academic Press, San Diego, California, USA.
- ✦ McCrae, S.E. y Paul, P.C. 1974. Rate of heating as it affects the solubilization of beef muscle collagen. *J. Food. Sci.* 39, 18-21.
- ✦ MacLeod, G., y Seyyedain-Ardebili, M. (1981). Natural and simulated meat flavor (with particular reference to breed). *Critical Review of Food Science and Nutrition* 14, 309-437.
- ✦ Methven, L.; Tsoukka, M.; Oruna-Concha, M.J.; Parker, J.K. & Mottram, D.S. (2007). Influence of sulfur amino acids on the volatile and non-volatile components of cooked salmon (*Salmo salar*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55, 1427-1436
- ✦ 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.
- ✦ Miller, M.F., Carr, M.A., Crockett, K.L., Hoover, L.C., Montgomery, J.L. 1998. National beef tenderness evaluation by retail consumers. *J. Anim Sci.* 78 (sup.2), 12-17.
- ✦ Miller, M.F., Hoover, L.C., Cook, K.D., Guerra, A.L., Huffman, K.L., Tinney, K.S., Ramsey, C.B., Brittin, H.C., Huffman, L.M. 1995. Consumer acceptability of beef steak tenderness in the home and restaurant. *J. Food Sci.* 60, 963-965.
- ✦ Miller, M.F., Kerth, C.R., Wise, J.W., Lansdell, J.L., Stowell, J.E., Ramsey, C.B. 1997. Slaughter plant location, USDA quality grade, external fat thickness, and aging time effects on sensory characteristics of beef loin strip steak. *J. Anim. Sci.* 75, 662-667.
- ✦ Kauffman, R.G. y Marsh, B.B. 1994. Características de calidad del músculo como alimento. En: *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Price, J.F., Schweigert, B.S. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✦ Monin, G. (1998). Recent methods for predicting quality of whole meat. *Meat Science* 49: 231- 243. Beet Quality. 8th Annual Langford. Food Industry Conference. Proceedings of the British Society of Animal Science, May 18th-19th, pp. 59-60. BSAS, Langford, Bristol, UK.

- ✦ Monsón, F.; Campo, M.M.; Panea, B.; Sañudo, C.; Olleta, J.L.; Albertí, P.; Ertbjerg, P.; Christiansen, M.; Gigli, S.; Failla, S.; Gaddini, A.; Hocquette, J.F.; Jailler, R.; Nute, G.R. y Williams, J.L. (2005a). Relación entre medidas objetivas y subjetivas de la conformación en 15 razas europeas de vacuno. ITEA. Vol. Extra 26: 723-725.
- ✦ Monsón, F.; Sañudo, C. and Sierra, I. (2004). Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Science* 68: 595-602.
- ✦ Monsón, F.; Sañudo, C. y Sierra, I. (2005b). pH, capacidad de retención de agua y color de la carne de cuatro razas de vacuno. ITEA. Vol. Extra 26: 840-842.
- ✦ Moody, W.G. 1983. Beef flavor. A Review. *Food Technol.* 5, 227-246.
- ✦ Moore, V.J. 1990. Increase in retail display of frozen lamb chops with increased loin storage time before cutting into chops. *Meat Sci.* 28, 251-258.
- ✦ Moore, V.J. y Young, O.A. 1991. The effects of electrical stimulation, thawing, ageing and packaging on the colour and display life of lamb chops. *Meat Sci.* 30, 131-138.
- ✦ Moss, B.W.; Farmer, L.J.; Hagan, T.D.J.; Majury, L.; Keady, T.W.J.; Kirkland, R.; Kirkpatrick, G.; Steen, R.; Patterson, D.; Kilpatrick, D.J. and Dawson, S. (2005). Effect of carcass weight on meat quality of longissimus dorsi from young Holstein bulls. In: *The Science of Beef Quality. 8th Annual Langford. Food Industry Conference. Proceedings of the British Society of Animal Science, May 18th-19th*, p. 61. BSAS, Langford, Bristol, UK.
- ✦ Koohmaraie, M. 1992. Muscle proteinases and meat aging. En: *38th International Congress of Meat Science and Technology*, Vol. 1, 61. Clermont-Ferrand, Francia.
- ✦ Nürnberg, K.; Nürnberg, G.; Ender, K.; Lorenz, S.; Winkler, K.; Rickert, R. and Steinhart, H. (2002). n-3 fatty acids and conjugated linoleic acids of longissimus muscle in beef cattle. *European Journal of Lipid Science and Technology* 104: 463-471.
- ✦ Offer, G. and Knight, P. (1988). The structural basis of water-holding in meat. Part 1: General principles and water uptake in meat processing. In: *Developments in Meat Science* (Ed. Lawrie, R.A.), pp. 63-171. Elsevier, Oxford, U.K.
- ✦ Organización Mundial de la Salud, OMS (2003). Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. WHO technical report series no. 916. Génova: Organización Mundial de la Salud.
- ✦ Ordóñez, J.A.; Cambero, M.I.; Fernández, L.; García, M.L.; García de Fernando, G.; De la Hoz, L. y Selgas, M.D. (1998). Cambios post mórtem del músculo. En: *Tecnología de los Alimentos. Alimentos de origen animal*, pp. 170-184. Síntesis S.A, Madrid, España.
- ✦ O'Sullivan, A.; Galvin, K.; Moloney, A.P.; Troy, D.J.; O'Sullivan, K. and Kerry, J.P. (2003). Effect of pre-slaughter rations of forage and/or concentrates on the composition and quality of retail packaged beef. *Meat Science* 63: 279-286.

- ✦ Page, J.K.; Wulf, D.M. and Schwotzer, T.R. (2001). A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science* 79: 678-687.
- ✦ Pan, B.S. y Kuo, J.M. (1994). Flavour of shellfish and kamaboko flavourants. En: *Seafoods: Chemistry, Processing, Technology and Quality*. Eds: F. Shahidi, J.R. Botta. Blackie Academic and Professional, New York, EE.UU.
- ✦ 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. Lawrie. Butterworths, London.
- ✦ Pearson, A.M. (1999). Introduction to quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. In: *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. Advances in Meat Research Series (Eds. Pearson A.M. & Dutson, T.R.), pp. 1-25. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland, USA.
- ✦ Pearson, A.M. 1966. Desirability of beef: its characteristics and their measurement. *J. Anim. Sci.* 25, 843-850.
- ✦ Pearson, A.M. 1986. Physical and Biochemical Changes Ocurring in Muscle during Storage and Preservation. En: *Muscle as Food*. Ed. P.J. Bechtel. Academic Press, New York.
- ✦ Pearson, A.M., Harrington, G., West, R.G., Spooner, M.E. 1962. The browning produced on heating fresh pork. I. The relation of intensity of browning to chemical constituents and pH. *J. Food Sci.* 27, 177-181.
- ✦ Pearson, A.M., Love, J.D., Shorland, F.B. 1977. Warmed-over flavor in meat, poultry and fish. *Adv. Food Res.* 23, 1-10.
- ✦ Pearson, A.M., Tarladgis, B.G., Spooner, M.E., Quinn, J.R. 1966. The browning produced on heating fresh pork. II. Nature of the reaction. *J. Food Sci.* 31, 184-189.
- ✦ Pearson, A.M. y Young, R.B. 1989. Post mortem changes during conversion
- ✦ Pearson, A.M. and Young, R.B. (1989). Postmortem changes during conversion of muscle to meat. In: *Muscle and Meat Biochemistry*. Food Science and Technology. A series of Monographs (Eds. Pearson, A.M. & Young, R.B.), pp. 391-444. Academic Press Inc., San Diego, USA.
- ✦ 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

- ✦ Pospiech, E. y Hönikel, K.O. 1991. Protein changes on heating and their influence on water-binding capacity of meat. En: 37th International Congress of Meat Science and Technology, Vol. 1, 457. Kulmbach. Alemania.
- ✦ Powell, V.H. 1991. Quality of beef loin steaks as influenced by animal age, electrical stimulation and ageing. Meat Sci. 30, 195-205.
- ✦ Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., Sinell, H.J. 1994. Tecnología e Higiene de la Carne. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✦ Price, J.F., Schweigert, B.S. 1994. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✦ Ramarathnam, N.; Rubin, L.J.; Dlosady, 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.
- ✦ Renand, G.; Picard, B.; Touraille, C.; Berge, P. and Lepetit, J. (2001). Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. Meat Science 59: 49-60.7
- ✦ Renerre, M. 1982. La couleur de la viande et sa mesure. Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A. 47, 47-54.
- ✦ Renerre, M. 1984. Variabilité entre muscles et entre animaux de la stabilité de la couleur des viandes bovines. Sci. Alim. 4, 567-574.
- ✦ Renerre, M. 1986. Influence des facteurs biologiques et technologiques sur la couleur de la viande bovine. Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A. 65, 41-45.
- ✦ Renerre, M. 1987. Influence du mode de conditionnement sur la couleur de la viande. VPC 8(2) marzo-abril.
- ✦ Renerre, M., Dumont, F., Gatellier, P.H. 1996. Antioxidant enzyme activities in beef in relation to oxidation of lipid and myoglobin. Meat Sci. 43, 111-116.
- ✦ Renerre M. y Mazuel J.P. 1985. Relations entre méthodes de mesure instrumentales et sensorielles de la couleur de la viande. Science des Aliments 5, 541-557.
- ✦ Renerre, M. y Valin, C. 1979. Influence de l'âge sur les caractéristiques de la couleur des viandes bovines de la race Limousine. Ann. Technol. Agric. 283, 319-332.
- ✦ Resurreccion, A.V.A. 1994. Cookery of Muscle Foods. En: Muscle Foods. Meat Poultry and Seafood Technology. Eds. D.M. Kinsman, A.W. Kotula, B.C. Breidenstein. Chapman & Hall, New York.
- ✦ Romans, J.R.; Johnson, R.C.; Wulf, D.M.; Libal, G.W. y Costello, W.J. (1995). Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork, I. Dietary level of flaxseed. Journal of Animal Science 73, 1982-1986.

- ✦ Roschen, H.L., Ortscheid, B.J., Ramsbottom, J.M. 1950. Tenderizing Meats. U.S. Patent 2, 519,913-920.
- ✦ Roncalés, P. (2001). Transformación del músculo en carne: rigor mortis y maduración. En: Enciclopedia de la Carne y de los Productos Cárnicos (Coord. Martín Bejarano, S.), pp. 291-312. Martín & Macías, Cáceres, España.
- ✦ Ruiz de Huidobro, F.; Miguel, E.; Onega, E. and Blázquez, B. (2003). Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat Science* 65: 1439-1446.
- ✦ Saito, K.; Ahhmed, A.; Takeda, H.; Kawahara, S.; Irie, M. y Muguruma, M. (2007). Effects of humidity-stabilizing sheet on the color and K vaule of beef stored at cold temperatures. *Meat Science* 75, 265-272.
- ✦ Shahidi, F., Synowiecki, J.; Dunajski, E. y Chong, x. (1994). Nonprotein nitrogen compounds in harp seal (*Phoca groenlandica*) meat. *Food Chemistry* 46, 407-413.
- ✦ Shahidi, F. (2000). Lipids in flavor formation. En: *Flavor Chemistry. Industrial and Academic Research*. Eds. Rsich, S.J.; Ho, C.T. ACS Symposium Series 756, Washington DC, 24-43.
- ✦ Santolaria, P. (1993). Influencia de factores genéticos y ambientales sobre los parámetros sensoriales que definen la calidad de la carne de añojo. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. España.
- ✦ Sañudo, C. (1999). Calidad de la carne de rumiantes en España. Comunicación personal. Sañudo, C.; Macie, E.S.; Olleta, J.L.; Villarroel, M.; Panea, B. and Albertí, P. (2004). The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science* 66: 925-932.
- ✦ Sañudo, C.; Olleta, J.L.; Campo, M.M.; Alfonso, M. y Panea, B. (2001). Propuesta de muestreo. En: *Monografías INIA: Ganadera N.1. Metodología para el Estudio de la Calidad de la Canal y de la Carne de Rumiantes* (Coods. Cañeque, V. & Sañudo, C.), pp. 139-144. MCyT- INIA, Madrid, España.
- ✦ Sañudo, C. 1980. Calidad de la canal y de la carne en el ternasco aragonés. Tesis doctoral, Fac. Veterinaria de Zaragoza, Zaragoza.
- ✦ Sañudo, C. 1992. La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina: factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. *Curso Internacional de Producción Ovina*. SIA, Zaragoza.
- ✦ Sañudo, C. 1993. Calidad organoléptica de la carne. En: *Tecnología y calidad de los productos cárnicos*. Ponencias del curso celebrado en Pamplona. Gobierno de Navarra. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes.
- ✦ Sañudo, C. 1998. Análisis Sensorial de la Carne. Apuntes del curso: Requisitos de calidad de la canal y de la carne de rumiantes para su comercialización. Impartido por

Centre International de hautes études agronomiques méditerranéennes (CIHEAM) en el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.

- ✦ Sañudo, C., Albertí, P., Franco, J., Olleta, J.L., Campo, M.M., Panea, B., Lahoz, F., Jaime, J., Pardos, J.J., Tena, R. 1999. Calidad instrumental de la carne de siete razas bovinas españolas. Eurocarne 73, 37-54.
- ✦ Sañudo, C., Campo, M.M., Sierra, I., Maria, G.A., Olleta, J.L., Santolaria, P. 1997. Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs. Meat Sci. 46, 357-365.
- ✦ Sañudo, C., Delfa, R., González, C., Alcalde, M.J., Casas, M., Santolaria, P., Vigil, E. 1992a. Calidad de la carne de ternasco. En: ITEA Vol. 88A, 221-227, Zaragoza.
- ✦ Sañudo, C., Olleta, J.L., Campo, M.M., Alfonso, M., Panea, B. 2000. Determinación instrumental de la calidad de la carne. Propuesta de muestreo. En: Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Coords. V. Cañeque y C. Sañudo. Monografías INIA: Ganadera N°1.
- ✦ Sañudo, C., Santolaria, P., Sierra, I., Alcalde, M.J., 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 x Rasa Aragonesa. I. Descripción y comparación entre los tipos de ternasco y pascual. An. Fac. Vet. Zaragoza 16-17, 285-295.
- ✦ Sarriés, M.V.; Murray, B.E.; Moloney, A.P.; Troy, D. y Beriain, M.J. (2009). The effect of cooking on the fatty acid composition of longissimus muscle from beef heifers fed rations designed to increase the concentration of conjugated linoleic acid in tissue. Meat Science 81 307-312
- ✦ Savell, J.W. y Cross, H.R. 1988. The role of fat in the palatability of beef, pork and lamb. En: Designing Foods: Animal Product Options in the Marketplace. National Academy Press, Washington D.C.
- ✦ Savell, J.W., Cross, H.R., Francis, J.J., Wise, J.W., Hele, D.S., Wilkes, D.L., Smith, G.C. 1989. National consumer retail beef study: interaction of trim level price and grade on consumer acceptance of beef steaks and roasts. J. Food Qual. 12, 251-257.
- ✦ Savell, J.W. y Shackelford, S.D. 1992. Significance of tenderness to the meat industry. Proc. Recip. Meat Conf. 45, 43-47.
- ✦ Schieberle, P., & Grosch, W (1987). Evaluation of the flavor of wheat and rye bread crusts by aroma extract dilution analysis. 185,111-113
- ✦ Scollan, N.D.; Richardson, I. and Moloney, A.P. (2005). Effect of beef systems on meat composition and quality. In: The Science of Beef Quality. 8th Annual Langford. Food Industry Conference. Proceedings of the British Society of Animal Science, May 18th-19th, pp. 1-6. BSAS, Langford, Bristol, UK.

- ✦ Scott-Blair, G.W. 1976. How far can studies of food texture be scientific. En: Rheology and texture in food quality. Eds. J.M. de Man, P.W. Voisey, V.F. Rasper, D.W. Stanley. The Avi Publishing Co., Inc. Westport, Connecticut.
- ✦ Sharp, J.G. 1957. Deterioration of dehydrated meat during storage. II. Effect of pH and temperature on browning changes in dehydrated aqueous extracts. J. Sci. Food Agric. 8, 21-27.
- ✦ Seideman, S.C. (1986). Methods of expressing collagen characteristics and their relationship to meat tenderness and muscle fiber types. Journal of Food Science 51: 273-276.
- ✦ Seideman, S.C., Cross, H.R., Crouse, J.D. 1989. Variation in the sensory properties of beef as affected by sex, condition, muscle and *post mortem* ageing. J. Food Qual. 12, 39-58.
- ✦ Sellier, P. (1988). Meat quality in pig breeds and cross-breeding. Livestock Production Science 18: 171-186.
- ✦ Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Savell, J.W. 1994. Evaluation of *longissimus dorsi* muscle pH at three hours *post mortem* as a predictor of beef tenderness. Meat Sci. 37, 195-199.
- ✦ Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Wheeler, T.L., 1995a. Effects of slaughter age on meat tenderness and USDA carcass maturity scores of beef females. J. Anim. Sci. 73, 3304-3309.
- ✦ Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Whipple, G., Wheeler, T.L., Miller, M.F., Crouse, J.D., Reagan, J.O. 1991. Predictors of beef tenderness: Development and verification. J. Food Sci. 56, 1130-1135.
- ✦ Shackelford, S.D., Purser, D.E., Smith, G.C., Griffin, C.L., Stiffler, D.M., Savell, J.W. 1992. Lean colour characteristics of bullock and steer beef. J. Anim. Sci. 70(2), 465-469.
- ✦ Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M. 1995b. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. J. Anim. Sci. 73, 3333-3340.
- ✦ Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M. 1997b. Repeatability of tenderness measurements in beef round muscles. J. Anim. Sci. 75, 2411-2416. Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M. 1997a. Tenderness classification of beef: I. Evaluation of beef *longissimus* shear force at 1 or 2 days *post mortem* as a predictor of aged beef tenderness. J. Anim. Sci. 75, 2417-2422.
- ✦ Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M. 1999. Tenderness classification of beef: II. Design and analysis of a system to measure beef *longissimus* shear force under commercial processing conditions. J. Anim. Sci. 77, 1474-1481.

- ✦ Sierra, I. 1974. El ternasco aragonés. Descripción y características fundamentales. Trabajos del I.E.P.G.E., nº 19.
- ✦ Sierra, I. 1977. Apuntes de Producción Animal. Fac. Veterinaria. Univ. Zaragoza.
- ✦ Sierra, I. 1986. Qualité de la carcasse des agneaux légers de races espagnoles: influence du genotype, du sexe et du poids-âge. Réflexions. Les carcasses d'agneaux et de chevreaux méditerranéens. En: Rapport EUR. Com. Eur. Program Agrimed.
- ✦ Sierra, I., Sañudo, C., Olleta, J.L., Forcada, F. 1988. Apport à l'étude comparative de la qualité de la carcasse et de la viande chez des agneaux légers. Problèmes concernant l'importation de carcasses. In 3rd World Congress of Sheep and Beef Cattle Breeding, 513-515. Paris, Francia.
- ✦ Simopoulos, A. P. (2004). Omega-6/Omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. Food Reviews International 20, 77-90.
- ✦ Smith, G.C. y Carpenter, Z.L. 1970. Lamb carcass quality. III. Chemical, physical and histological measurements. J. Anim. Sci. 31, 697-706.
- ✦ Smith, G.C., Carpenter, Z.L., King, G.T., Hoke, K.E. 1970. Chemical, physical, histological indices of lamb carcass quality. J. Anim. Sci. 31, 190 (abstr.).
- ✦ Smith, G.C., Cross, H.R., Carpenter, Z.L., Murphey, C.E., Savell, J.W., Abraham, H.C., Davis, G.W. 1982. Relationship of USDA maturity groups to palatability of cooked beef. J. Food Sci. 47, 1100-1104.
- ✦ Smith, J.E. (1990). Fat soluble vitamins: Vitamins A, E, D and K. In: Meat and Health, Advances in Meat Research Series 6: 371.
- ✦ Smulders, F.J.M., Marsh, M.M., Swartz, D.R., Russell, R.L., Hoenecke, E. 1990. Beef tenderness and sarcomere length. Meat Sci. 28, 349-358.
- ✦ Spanier, A.M., Vercellotti, J.R. and James, J.R.C. 1992. Correlation of sensory, instrumental and chemical attributes of beef as influenced by meat structure and oxygen exclusion. J. Food Sci. 57:10-15.
- ✦ 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.
- ✦ Stabursvik, E. y Martens, H. 1980. Thermal denaturation of proteins in *post rigor* muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. J. Food Agric. 31, 1034-1042.
- ✦ Swatland, H.J. 1991. Estructura y desarrollo de los animales de abasto. Ed. Acribia, Zaragoza.
- ✦ Swatland, H.J. 1995. Connective tissue distribution patterns in beef detected by ultraviolet fibre optics. Food Sci. Technol. 29, 272-277.

- ✦ Swatland, H.J. y Findlay, C.J. 1997. On-line probe prediction of beef toughness, correlating sensory evaluation with fluorescence detection of connective tissue and dynamic analysis of overall toughness. *Food Qual. Pref.* 8(3), 233-239.
- ✦ Takahashi (1996). Structural weakening of skeletal muscle tissue during post-mortem ageing of meat: the non-enzymatic mechanism of meat tenderization. *Meat Science* 43: 67-80.
- ✦ Tarrant, P.V. (1981). The occurrence, causes and economic consequences of dark-cutting in beef.- a survey of current information. In: *The problem of dark-cutting in beef. Current Topics in Veterinary Medicine* (Eds. Hood, D.E. & Tarrant, P.V.). Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, Holland.
- ✦ Thompson, R.H. 1972. Identification of some C19 Δ 16 steroids contributing to sex odour in pork. *J. Ag. Food Chem.* 20, 185-191.
- ✦ Tornberg (1996). Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science* 43: 175-191.
- ✦ Touraille, C. 1978. Evolution de la composition corporelle du poulet en fonction de l'âge, et conséquences sur la qualité. *INRA: La composition corporelle des volailles*, 59-70.
- ✦ Touraille, C. 1992. Consumer evaluation of meat quality criteria. *Proc. 38th Int. Congr. Of Meat Sci. and Tech.*, 301-304. Clermont-Ferrand, France. Touraille, C. y Girard, J.P. 1985. Influence du sexe et de l'âge à l'abattage sur les qualités 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.
- ✦ Urbain, W.M. 1952. Oxygen is key to the colour of meat. *The National Provisioner* 127, 140-148.
- ✦ Vani, N.D.; Modi, V.K.; Kavitha, S.; Sachindra, N.M. y Mahendrakar, S.S. (2006). Degradation of inosine-5'-monophosphate (IMP) in aqueous and layering chicken muscle fibres systems: Effect of pH and temperature. *LWT* 39, 627-632
- ✦ Vanichseni, S., Haughey, D., Nottingham, P. 1972. Water and airthawing of frozen lambs shoulders. *J. Food Tech.* 7(3), 259-270.
- ✦ Varela, A.; Oliete, B.; Monserrat, L.; Carballo, J.A. y Sánchez, L. (2001). Efecto de la extensificación del manejo sobre la dureza, jugosidad y composición química de la carne de terneros de raza Rubia Gallega sacrificados sin destetar. *ITEA. Vol. Extra* 22: 562-564.
- ✦ Varela, A.; Oliete, B.; Moreno, T.; Portela, C.; Carballo, J.A.; Sánchez, L. y Monserrat, L. (2003). Calidad de la carne de machos enteros y castrados de raza Rubia Gallega sacrificados con 24 meses. *Archivos de Zootecnia* 52: 347-358.
- ✦ Viljoen, H.F.; De Kock, H.L. and Webb, E.C. (2002). Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Science* 61: 181-185.

- ✦ Vestergaard, M.; Oksbjerg, N. and Henckel, P. (2000). Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. *Meat Science* 54: 177- 185.
- ✦ Warren, H.E.; Scollan, N.D.; Nute, G.R.; Hughes, S.I.; Wood, J.D. & Richardson, R.I. (2008). Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. II: Meat stability and flavour. *Meat Science* 78 (2008) 270–278
- ✦ Watanabe K, Sato Y. 1971. Gas chromatography and mass spectral analysis of beef fats. *Agric Bio Chem* 35:756
- ✦ Windham, W.R. and Morrison, W.H. (1998). Prediction of fatty acid content in beef neck lean by near infrared reflectance analysis. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 6: 229-234.
- ✦ Wismer-Pedersen, J. (1994). Química de los tejidos animales. Parte 5 Agua. En: *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos* (Eds. Price, J.F. & Schweigert, B.S.), pp. 125-138. Acribia, Zaragoza, España.
- ✦ Whitaker, J.R. 1959. Chemical changes associated with ageing of meat with emphasis on the proteins. *Adv. Food Res.* 9, 1-9.
- ✦ Wong, E., Nison, L.N., Johnson, C.B. 1975. Volatile medium chain fatty acids and mutton flavor. *J Agric. Food Chem.* 23, 495-501.
- ✦ Wood, J.D.; Richardson, I.R.; Nute, G.R.; Fisher, A.V.; Campo, M.M.; Kasapidou, E.; Sheard, P.R. and Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science* 66: 21-32.
- ✦ Wulf, D.M.; Morgan, J.B.; Tatum, J.D. and Smith, G.C. (1996). Effects of animal age, marbling score, calpastatin activity, subprimal cut, calcium injection and degree of doneness on the palatability of steaks from Limousin steers. *Journal of Animal Science* 74: 569-576.
- ✦ Yang, A.; Lanari, M.C.; Brewster, M. and Tume, R.K. (2002). Lipid stability and meat colour of beef from pasture- and grain-fed cattle with or without vitamin E supplement. *Meat Science* 60: 41-50.
- ✦ Young, O.A., Braggins, T.J., Barker, G.J. 1992. The effects of collagen characteristics on sensory assessment and shear values of cooked sheep *semimembranosus* muscles. 38th ICOMST. Clermont-Ferrand, Francia.
- ✦ Young, O.A., Reid, D.H., Scales, G.H. 1993. Effect of breed and ultimate pH on the odour and flavour of sheep meat. *New Zealand J. Agric. Res.* 36, 363-370.
- ✦ Zembayashi, M.; Nishimura, K.; Lunt, D.K. and Smith, S.B. (1995). Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *Journal of Animal Science* 73: 3325-3332.

