

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA CARNE DE TORO DE LIDIA

presentado por

JOANA DE LAS HERAS ROJO *(e)k*

aurkeztua

**INGENIERO AGRONOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA**

Septiembre, 2012

CONFORMIDAD DEL DIRECTOR Y TUTOR DEL TRABAJO FINAL
DE CARRERA

Kizkitza Insausti Barranetxea, Profesora del Departamento de Producción Agraria de la Universidad Pública de Navarra y Gregorio Indurain Báñez, Técnico de Proyecto en la Univesidad Pública de Navarra del Departamento de Producción Agraria:

CERTIFICAN:

El Trabajo Fin de Carrera titulado **“Caracterización físico-química de la carne de toro de lidia”** que presenta la alumna **Joana de las Heras Rojo** para optar al título de Ingeniero Agrónomo ha sido desarrollado bajo nuestra dirección en el Departamento de Producción Agraria de la Universidad Pública de Navarra.

Revisado el trabajo, consideramos que reúne las condiciones necesarias para su defensa por lo que autorizamos la presentación del citado Trabajo Final de Carrera.

Pamplona, 3 de septiembre de 2012

Fdo: Kizkitza Insausti Barranetxea

Fdo: Gregorio Indurain Báñez

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes personas:

A Gregorio, mi director de TFC, por la constante dedicación e interés en todo momento, sus consejos, por la ayuda recibida en todas las determinaciones analíticas y sobre todo por todas las enseñanzas que me ha aportado a lo largo de estos meses.

A todo el grupo de Producción Animal, por su profesionalidad y simpatía, y, en especial, a Maria Jose, por el interés mostrado, sus consejos y disponibilidad; y Vicky, por la ayuda prestada en la determinación de ácidos grasos y el tiempo compartido frente al ordenador descifrando cromatogramas.

A Kizkitza y a Garbiñe, por mostrarme el mundo del análisis sensorial y por todas las cosas que he aprendido con ellas.

A mis padres y hermana, por soportar mis constantes cambios de humor, mis nervios y por estar siempre a mi lado apoyándome. Les quiero un montón a los tres.

Al “Equipo”, por hacerme olvidar todo y desconectar gracias a sus tonterías y locuras variadas. A mis niñas de Palen por mostrar interés por mi trabajo en todo momento.

Y sobre todo gracias a esas personitas que me han dado ánimos y han estado ahí preocupándose por mí cuando he tenido que superar pequeños baches en el camino durante este año.

MUCHAS GRACIAS A TODOS

INDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| INDICE DE CONTENIDOS | I |
| INDICE DE TABLAS | III |
| RESUMEN | 1 |
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN | 2 |
| CAPITULO II: ANTECEDENTES | 4 |
| 1. ESTRUCTURA DEL MÚSCULO | 5 |
| 2. CONVERSIÓN DEL MÚSCULO EN CARNE..... | 8 |
| 2.1 FACTORES ANTEMORTEM..... | 8 |
| 2.1.1 RAZA..... | 8 |
| 2.1.2 EDAD..... | 10 |
| 2.1.3 SEXO | 11 |
| 2.1.4 TIPO DE MÚSCULO | 12 |
| 2.1.5 ALIMENTACIÓN | 13 |
| 2.2 FACTORES LIGADOS AL SACRIFICIO | 15 |
| 2.2.1 ESTRÉS | 15 |
| 2.3 FACTORES POST MORTEM..... | 16 |
| 2.3.1 RIGOR MORTIS | 16 |
| 2.3.2 pH FINAL | 17 |
| 2.3.3 MADURACIÓN | 19 |
| 2.3.4 MANIPULACIÓN DE LA CANAL..... | 20 |
| Colgado de la canal..... | 20 |
| Estimulación eléctrica..... | 21 |
| Inyección de sales de calcio | 21 |
| 3. MEDIDA DE LA TEXTURA..... | 22 |
| 3.1 MEDIDAS INSTRUMENTALES..... | 22 |
| 3.1.1 Resistencia al corte (Warner – Bratzler)..... | 23 |
| 3.1.2 Compresión | 23 |
| 3.2 ANÁLISIS SENSORIAL..... | 25 |
| 3.2.1 Panel entrenado | 25 |
| 3.2.2 Panel de consumidores | 26 |
| 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA..... | 27 |
| 4.1 MEDIDA DE LA GRASA INTRAMUSCULAR | 27 |
| 4.1.1 EVALUACIÓN CUANTITATIVA | 28 |
| Cuantificación grasa intramuscular..... | 28 |
| Grado de veteado | 28 |
| 4.1.2 EVALUACIÓN CUALITATIVA | 30 |
| Composición en ácidos grasos | 30 |
| 4.2 COLÁGENO | 31 |
| 5. TORO DE LIDIA..... | 32 |
| 5.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN..... | 32 |
| 5.2 SACRIFICIO..... | 34 |
| 5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE TORO DE LIDIA | 35 |
| 5.4 COMERCIALIZACIÓN..... | 35 |
| CAPITULO III: OBJETIVOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 37 |
| CAPITULO IV: MATERIAL Y MÉTODOS | 39 |
| 1. SACRIFICIO Y TOMA DE MUESTRAS | 40 |
| 1. SACRIFICIO Y TOMA DE MUESTRAS | 40 |
| 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CARNE | 41 |
| 2.1 HUMEDAD..... | 41 |
| 2.2 GRASA | 42 |
| 2.3 COLÁGENO | 44 |
| Determinación del colágeno soluble..... | 44 |
| Determinación del colágeno total..... | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4 COMPOSICIÓN EN ACIDOS GRASOS..... | 47 |
| Extracción de grasa con disolvente | 47 |
| Separación de lípidos neutros (NL) y fosfolípidos (PL)..... | 49 |
| Procedimiento de metilación | 50 |
| Análisis de los ácidos grasos | 51 |
| 3. MEDIDAS DE TEXTURA INSTRUMENTAL | 52 |
| 3.1 COMPRESIÓN | 52 |
| 4. ANALISIS ESTADÍSTICO | 55 |
| CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 57 |
| 1. HUMEDAD, GRASA, COLÁGENO Y pH..... | 58 |
| 2. COMPRESIÓN..... | 60 |
| 3. CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES INSTRUMENTALES | 62 |
| 4. RELACIÓN DEL ABLANDAMIENTO DE LA CARNE CON LA MADURACIÓN Y LAS VARIABLES MEDIDAS DE FORMA INSTRUMENTAL | 62 |
| 5. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS..... | 70 |
| CAPITULO VI: CONCLUSIONES | 79 |
| CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA..... | 82 |
| CAPITULO VIII: ANEXOS | 97 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1: Niveles de significación estadísticos de los efectos Ganadería y Animal jerarquizado a Ganadería para las variables porcentaje de grasa intramuscular y humedad de la carne de toro de lidia..... | 58 |
| Tabla 2: Niveles de significación estadísticos de los efectos tiempo de Maduración de la carne, Ganadería y Animal jerarquizado a Ganadería, para las variables contenido en colágeno total y porcentaje de colágeno soluble en la carne de toro de lidia. | 58 |
| Tabla 3: Medías mínimo cuadráticas y errores típicos (SE), según la Ganadería, de las variables porcentaje de grasa intramuscular y de humedad de la carne de toro de lidia. | 58 |
| Tabla 4: Medías mínimo cuadráticas y errores típicos (SE), según la el tiempo de Maduración de la carne y de la Ganadería, de las variables contenido total de colágeno y porcentaje de colágeno soluble en la carne de toro de lidia..... | 58 |
| Tabla 5: Niveles de significación estadísticos de los efectos Maduración, Ganadería y Animal jerarquizado a Ganadería, para las variables de textura obtenidas en el análisis de compresión..... | 61 |
| Tabla 6: Medías mínimo cuadráticas y errores típicos (SE), según el tiempo de Maduración de la carne y de la Ganadería, las variables de textura obtenidas en el análisis de compresión de la carne de toro de lidia. | 61 |
| Tabla 7: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables de textura y de composición química en la carne madurada durante 24 horas | 63 |
| Tabla 8: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables de textura y de composición química en la carne madurada durante 14 días | 64 |
| Tabla 9: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las diferencias en las variables de textura a las 24 horas y 14 días y otras variables de la carne como colágeno total, colágeno soluble, grasa, humedad y pH. | 64 |
| Tabla 10: Niveles de significación estadísticos del efecto Grupo intensidad del ablandamiento en cada una de las variables de textura obtenidas del análisis de compresión uniaxial, para los valores de Fuerza y Area bajo la curva obtenidos a las 24 horas post sacrificio (Dureza Inicial) y los 14 días post sacrificio (Dureza Final)..... | 66 |
| Tabla 11: Medías mínimo cuadráticas y errores típicos (SE), de la Dureza inicial y Dureza final según el Grupo intensidad del ablandamiento en cada una de las variables de textura obtenidas del análisis de compresión uniaxial..... | 66 |
| Tabla 12: Niveles de significación estadísticos de los efectos Ganadería y Ganadería*Animal para la composición de ácidos grasos de la grasa intramuscular según la fracción lipídica | 72 |
| Tabla 13: Medías mínimo cuadráticas y errores típicos (SE) de los porcentajes de ácidos grasos en relación a los ácidos grasos totales, según la fracción lipídica y la Ganadería..... | 73 |

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA CARNE DE TORO DE LIDIA

Alumna: Joana de las Heras Rojo

La carne de toro de Lidia es un tipo de carne cuyo consumo es muy estacional ligado a las tradiciones culinarias de los festejos populares. Sin embargo, es un producto del que los consumidores no tienen una percepción clara ya que tanto el sistema de producción como su calidad y su composición química son bastante desconocidos debido a los pocos estudios publicados sobre la calidad de los toros de Lidia.

Por ello, en este trabajo se ha caracterizado la carne del toro de Lidia mediante la determinación de los principales parámetros relacionados con la calidad físico-química y el efecto de la maduración sobre ellos, así como la composición en ácidos grasos de la grasa intramuscular.

La carne de los toros estudiados se caracteriza por presentar un pH elevado (pH = 6,0) como consecuencia las condiciones especialmente estresantes en su sacrificio. Estos altos valores de pH determinan la dureza inicial y su evolución durante la maduración de la carne. En cuanto a la composición química, estos animales presentan un alto porcentaje de colágeno total y una baja solubilidad (5%), características atribuibles a su edad de sacrificio. Por su nivel de engrasamiento y su perfil de ácidos grasos, la carne de toro de Lidia puede ser considerada como un producto bajo en grasa (<5%) similar al encontrado en otras razas autóctonas españolas y que sería característico, al menos en parte, de animales alimentados con concentrado de cereal. Las diferencias que se han encontrado entre ganaderías en el perfil de ácidos grasos podrían sugerir distintos sistemas de manejo de los animales en la explotación.

A partir de los resultados obtenidos y mediante el desarrollo del marketing, comercialización y estrategias de venta se podría diferenciar este tipo de carne para mejorar los beneficios de las producciones ganaderas de toros de Lidia.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En la actualidad y debido a los cambios sociales y económicos que se están viviendo, la cría y explotación de los animales de raza brava se enfrenta a una caída en el número de festejos taurinos. Desde 2007 el número de festejos se ha reducido en torno a un 40%, con la consecuente contracción de la demanda de ganado bravo, lo que ha agudizado la situación de crisis de los ganaderos.

Además de la actual crisis económica, un ejemplo de medidas que acentúan esta caída en los festejos son las tomadas en Cataluña a través de la aprobación de la Ley 28/2010, del 3 de agosto, por la que se prohíben las corridas de toros y los espectáculos taurinos de cualquier modalidad que incluyan la muerte del animal y la aplicación de las suertes de la pica, las banderillas y el estoque. Ésta y otras medidas han provocado, entre otros efectos económicos, una sobreoferta en la cabaña de toros de lidia. Ante esta situación del mercado los ganaderos tienen que enviar parte de sus reses directamente al matadero como mal menor para obtener algún ingreso con la venta de su carne.

Los costes de producción de un toro para lidia se sitúan entre los 4.000 y los 5.000 euros, pero si el destino final de la res es el matadero en vez de la plaza, el precio percibido se sitúa en torno a los 500 euros, un 10 % de su valor potencial.

La carne de toro de lidia es un tipo de carne con una oferta y demanda muy estacional debido a que es un producto tradicionalmente consumido de forma local como resultados de festejos populares. La carne de toro bravo, por su sistema de cría, su modo de sacrificio y las connotaciones socio-culturales que le rodean, es un producto que puede considerarse “único” dentro del mundo de la carne. Sin embargo, hay pocos estudios que caractericen las cualidades físico-químicas de su carne.

Una solución para revalorizar este tipo de carne sería crear una marca de calidad. A través de ella sería posible transmitir a los consumidores sus características, ya que, en general, no tienen una percepción clara sobre este tipo de carne, debido a que su sistema productivo y calidad sensorial e instrumental son desconocidos.

CAPITULO II: ANTECEDENTES

1. ESTRUCTURA DEL MÚSCULO

La carne se compone fundamentalmente de músculo y cantidades variables de tejido conectivo y adiposo, así como tejido epitelial y nervioso. Debido a que el músculo esquelético comprende el 40% del peso corporal (Arana e Insausti, 2010) y es el principal componente de la carne, es necesario dar una breve descripción de su estructura microscópica y su composición proteica, con el propósito de comprender los factores que determinan las características de la carne.

Las fibras del músculo esquelético consisten en largas células multinucleadas dispuestas en una estructura de haces muy característica, debido a la presencia de una serie de componentes del tejido conectivo que separan y envuelven a dichas fibras (Price y Schweigert, 1994). Estas fibras se caracterizan por su patrón en bandas. Tienen un diámetro aproximadamente 50 μm y se hallan rodeadas por una membrana que se denomina sarcolema (Figura 1). Cada fibra muscular contiene múltiples miofibrillas, las cuales se hallan incluidas en el citoplasma de la célula muscular o sarcoplasma. Las miofibrillas son elementos contráctiles intracelulares alargados de 1 a 3 μm de diámetro. El aspecto estriado de la fibra muscular esquelética está determinado por la disposición estructural de los miofilamentos finos y gruesos, que microscópicamente se observan como bandas alternas claras y oscuras. El sarcómero es la unidad estructural y funcional de la miofibrilla, mide aproximadamente 1,5-2,2 μm de longitud y es el segmento comprendido entre dos discos Z. Estos últimos, son líneas oscuras que subdividen a las bandas claras, denominadas bandas I, formadas por filamentos finos (Figura 1) (Soria y Corva, 2004).

Los filamentos gruesos están formados por miosina, mientras que el principal componente proteico de los filamentos finos es la actina, la cual se halla asociada con tropomiosina y troponina. Asociadas a los filamentos de actina y miosina se encuentran una serie de proteínas reguladoras, tanto mayores como menores (Marzo, 2010).

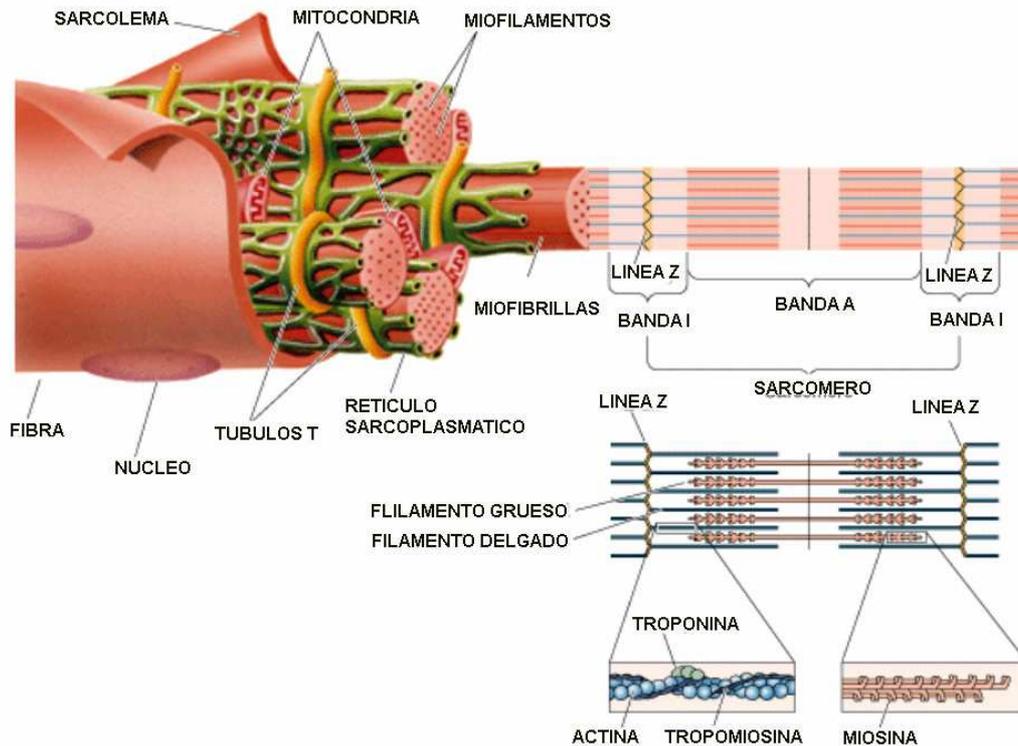


Figura 1: Organización de la fibra muscular (<http://magisnef.wordpress.com/2007>)

Las fibras del músculo se pueden dividir en dos clases: fibras rojas (de contracción lenta u oxidativas) y fibras blancas (de contracción rápida o glicolíticas). Las fibras rojas se caracterizan por un número reducido de miofibrillas y un sarcoplasma muy abundante con una elevada cantidad de mioglobina (lo que le da un color rojo muy intenso). La abundancia de mitocondrias y la capacidad de almacenamiento de oxígeno que le confiere la mioglobina, determinan que la energía necesaria para sus procesos se obtenga fundamentalmente por vía aerobia. La lentitud de la contracción es causada por el reducido número de elementos contráctiles (miofibrillas). Las fibras blancas, por el contrario, se caracterizan por la abundancia de miofibrillas que ocupan casi la totalidad del sarcoplasma, el cual presenta un escaso contenido en mioglobina y en mitocondrias. En estas fibras la energía se obtiene sobre todo de la utilización de los hidratos de carbono (glucólisis) mientras que en las fibras rojas también se utilizan las grasas como fuente de energía. Por todo ello, las fibras rojas predominan en los músculos cuya actividad es continua (músculos del tronco) y las blancas en los músculos relacionados con el movimiento (músculos de las extremidades) que necesitan contraerse con mayor rapidez (Price y Schweigert, 1994).

Respecto al tejido conectivo, éste actúa como envoltura y elemento divisorio entre las fibras musculares, haciendo que éstas se mantengan en su lugar. Un músculo

completo está rodeado generalmente por una capa de tejido conectivo que se denomina epimisio (Figura 2). Las fibras se organizan en haces o fascículos, cada uno de los cuales se encuentra cubierto por otra fracción de tejido conectivo denominada perimisio. Una delicada extensión del tejido conectivo rodea cada fibra individualmente. Esta delgada lámina se denomina endomisio. Toda esta estructura confiere al músculo soporte y organización y sirve para conducir el abastecimiento vascular y nervioso (Price y Schweigert, 1994).

El tejido conectivo está compuesto por redes de colágeno y fibras de elastina embebidas en una matriz de proteoglicanos (Lepetit, 2007). El colágeno es el principal componente del tejido conectivo de los músculos (80%), con gran influencia en la dureza de la carne (Dutson, 1974). La gran resistencia del colágeno se debe a la formación de enlaces químicos entre las distintas cadenas (López, Carmona y Soares; 2001). Las propiedades físicas de las fibras de colágeno dependen del número y naturaleza de estos enlaces. Existen unos puntos reducibles, más o menos vulnerables en función de la temperatura y condiciones del medio, cuya ruptura cambia la conformación de las fibras permitiendo cambios en la estructura fibrilar (Ouali, 1990; Avery y col., 1996).

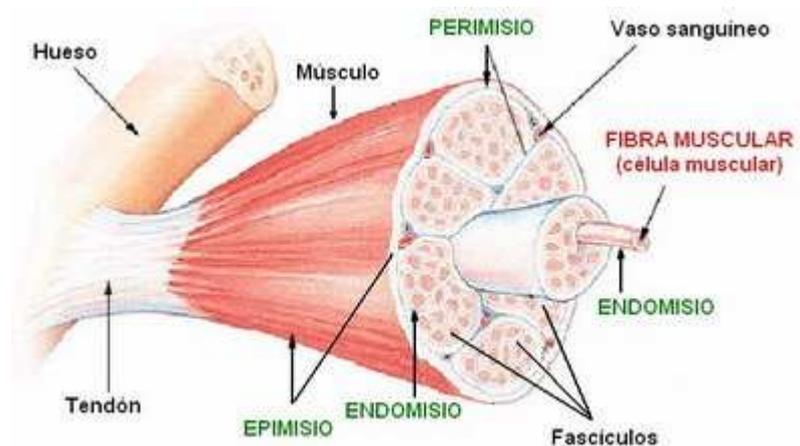


Figura 2: Organización del tejido conectivo en la fibra muscular
(<http://blogdefarmacia.com/crecimiento-y-regeneracion-del-musculo-esqueletico-estriado/>)

En cuanto a las células grasas presentes en el músculo, éstas se localizan en el perimisio y son extrafasciculares. Este depósito graso es el responsable del veteado de la carne (Price y Schweigert, 1994). El contenido de grasa intramuscular es responsable de la sensación de jugosidad sostenida causada, al parecer, por el efecto estimulante de la

grasa sobre la secreción salivar. La acumulación de lípidos en este depósito es un carácter muy deseado en algunos mercados como parámetro de calidad y tiene una gran influencia en la determinación del valor de la carne (López, Carmona y Soares; 2001).

En conclusión, la textura de un músculo depende de la interacción de los distintos componentes de éste, especialmente de las miofibrillas y el tejido conectivo (Lepetit y col., 1986; Campo y col., 1999).

2. CONVERSIÓN DEL MÚSCULO EN CARNE

La textura es una propiedad de los alimentos resultado de características mecánicas y geométricas, así como de características relacionadas con la cantidad de humedad y grasa del producto y del modo en que cada uno de ellos se detecta en la masticación (Brandt y col., 1963).

Dentro de la textura, la ternura es considerada la propiedad más importante de la carne, siendo el factor más relevante en la aceptabilidad de la carne por parte del consumidor (Dransfield, 1994; Takahashi, 1996; Tornberg, 1996).

La dureza de la carne es muy variable y depende de diversos factores como la raza, edad, sexo, tipo de músculo, temperaturas y duración del almacenamiento (Dransfield, 1992). El efecto del cocinado en las miofibrillas y en el tejido conectivo es muy importante, ya que la carne se consume principalmente cocinada y el calor influye en su ternura (Bouton y col., 1972).

Los factores que determinan la textura de la carne pueden dividirse en factores ante y post mortem.

2.1 FACTORES ANTEMORTEM

2.1.1 RAZA

La mayor influencia de la raza se da en parámetros ligados a la calidad de la canal como la conformación y engrasamiento o el rendimiento carnicero mostrando también un efecto moderado en el color y flavor de la carne. En la literatura las máximas diferencias debidas al genotipo se han encontrado entre los dos troncos *Bos taurus* y *Bos indicus* (O'Connor y col., 1997). Numerosos estudios han mostrado que la carne de

Bos taurus es más tierna que la de *Bos indicus* (McKeith y col., 1985; Crouse y col., 1987; Hilton y col., 2004).

En cuanto a la textura, las diferencias de dureza de la carne dentro de un mismo tronco no son muy importantes siempre que las condiciones de producción y manejo pre- y post-sacrificio sean idénticas. Respecto a la maduración, Campo y col., (1999) mostraron que en las razas de crecimiento moderado la carne madura con mayor rapidez, necesitando las razas rústicas tiempos de maduración más largos para alcanzar el mismo grado de terniza. En dicho estudio se encontró que carne de razas de crecimiento moderado (Pirenaica y Rubia Gallega) presenta a los 14 días de maduración el 71,2 % de su ternización total frente al 66,1 % de las razas rústicas estudiadas (Avileña – Negra Ibérica, Morucha y Retinta) las cuales experimentan un importante incremento de su terniza durante la tercera semana de maduración.

Otros parámetros como son flavor y color se ven moderadamente influenciados por la raza debido a diferencias en la precocidad y, por tanto, al grado de engrasamiento (Sañudo y Campo, 2008). En un estudio realizado por Touraille (1982) no se encontraron diferencias entre animales de las razas Limousine y Charolais. Sin embargo, cuando se comparan con razas de tipo británico como Hereford y Angus, el efecto raza se manifiesta en mayores niveles de engrasamiento y mayor intensidad del flavor en las razas británicas. La mayor precocidad de estas razas puede justificar estos resultados.

La raza también determina la composición en ácidos grasos, como han señalado Malau-Aduli y col., (1997) y Huerta-Leidenz y col., (1993) entre otros. En el estudio realizado por Malau-Aduli y col., (1997) se observó que la grasa de los animales de raza Limousin, en comparación con la raza Jersey, tienen un mayor porcentaje de ácidos grasos saturados y un menor porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados.

Otro efecto de la raza es la respuesta hormonal al estrés y al manejo pre-sacrificio. Algunos factores genéticos, como el temperamento, influyen en el grado en que los animales responden ante el estrés. (Voisinet y col., 1997; King y col., 2006; Muchenje y col., 2009) encontraron que los animales más excitables tienen mayor incidencia de carnes DFD (*dark, firm, dry*) lo que implica que su carne presentará gran firmeza, alta capacidad de retención de agua (CRA) y un color oscuro.

Pese a las diferencias descritas, en términos generales se puede decir que la raza tiene efectos menores en las características físicas y nutricionales de la carne si los comparamos con los efectos que tienen otros factores como pueden ser alimentación o manejo al sacrificio (Schor y col, 2008).

2.1.2 EDAD

La calidad de la carne evoluciona considerablemente con la edad, lo que es debido a cambios profundos en la composición y características metabólicas de los músculos (Sañudo, 1993). Con la edad del animal la carne se hace más dura debido tanto a las miofibrillas como al colágeno. El contenido en colágeno total varía poco con la edad pero el número y estado de sus enlaces si que sufre cambios considerables. En este sentido, a lo largo de la vida de un animal el número de enlaces cruzados entre las moléculas de colágeno y las fibrillas aumenta, lo que a su vez hace aumentar su estabilidad térmica (Lepetit, 2007, Okumura y col., 2012). En cuanto al tipo de fibras musculares, en los animales de mayor edad aumenta el número de fibras rojas que experimentan una maduración más lenta que las fibras blancas lo que también contribuye a explicar la mayor dureza de la carne de animales más viejos (Berriain y Lizaso, 1998).

Como consecuencia de estos fenómenos, con la edad disminuye la velocidad de ablandamiento de la carne con la maduración por lo que el tiempo necesario para obtener la máxima ternera es mayor para animales de más edad (Sañudo, 1993).

Otro parámetro de calidad que varía con la edad es la jugosidad, la cual está íntimamente relacionada con la cantidad de grasa intramuscular y la capacidad de retención de agua (CRA). La carne de animales jóvenes, por su bajo contenido graso y su mayor CRA, puede ofrecer una primera impresión de jugosidad en los primeros bocados. Sin embargo, la percepción final es de sequedad debida a la falta de grasa infiltrada en el músculo en animales de corta edad (Berriain y Lizaso, 1998).

En lo que se refiere al color de la carne, éste depende del contenido en pigmentos. Con la edad del animal aumenta la cantidad de mioglobina y disminuye la estabilidad del color, lo que explica que la carne de vacuno mayor sea de color más oscuro e intenso que la de animales jóvenes (López, Carmona y Soares; 2001).

Por su parte, la intensidad del flavor de la carne está determinada por compuestos volátiles presentes en la grasa, de forma que animales con un mayor desarrollo graso presentarán una mayor concentración de dichos compuestos, y como consecuencia, un flavor más intenso. Por este motivo, la intensidad del flavor de la carne de los animales viejos es mayor que la de los jóvenes. Del mismo modo, el sabor de la carne de ternera es mucho más suave que el de la carne de vacuno mayor, y la carne de animales machos adultos es posible que posea un olor que puede resultar desagradable para los consumidores de mercados donde el producto tipo es un animal de un año de edad, como el mercado español (Price y Schweigert, 1994).

En cuanto al perfil de ácidos grasos, a medida que el animal crece y aumenta el porcentaje de grasa de su cuerpo los lípidos neutros predominan en la composición global de ácidos grasos (Wood y col., 2008). El grado de saturación también cambia con la edad del animal. Conforme el animal se desarrolla aumenta el porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados y descende el porcentaje de ácidos grasos saturados (Malau-Aduli y col., 1997).

2.1.3 SEXO

El principal efecto del sexo en la calidad de la carne se da en el nivel de engrasamiento de la canal. Las canales con un engrasamiento superior proporcionan músculos con mayor contenido de grasa intramuscular lo que lleva asociada una mayor jugosidad de la carne (Bruce y col., 2004; Wood y col., 2008; Arana e Insausti, 2010). Los animales más precoces depositan mayor cantidad de grasa por lo que a la misma edad de sacrificio presentarán carne más jugosa. Esto ocurre con las hembras, las cuales tienen un mayor desarrollo graso frente a los machos (Beriain y Lizaso, 1998). Si se compara machos enteros vs. machos castrados encontramos que los machos enteros generalmente tienen una relación carne-grasa mayor que los castrados. (Martín, 2001).

Por otro lado, la formación de enlaces cruzados entre las moléculas de colágeno y las fibrillas también se ve condicionada por el sexo. Los andrógenos promueven la formación de estos enlaces por lo que el colágeno de los machos es menos soluble que el de las hembras y, en consecuencia, la dureza de la carne es mayor. (López, Carmona y Soares; 2001).

El sexo también tiene influencia en el temperamento de los animales. Los machos enteros son más excitables que las hembras y los machos castrados. Esto se traduce en el pH final de la carne. Sornay (1978) encontró que después del sacrificio la velocidad de caída del pH en el músculo es más lenta en machos que en hembras. De ahí que los machos enteros tienden a presentar con mayor frecuencia carnes de pH elevado en comparación con machos castrados o hembras, lo que implica una mayor incidencia de carne DFD.

En lo que respecta al perfil de ácidos grasos, las diferencias entre machos y hembras en vacuno son muy pequeñas. En un estudio realizado por Westerling y Hendrick (1979) encontraron que los machos presentan un mayor contenido de ácido linoleico en comparación con las hembras. Sin embargo, al comparar el porcentaje total de ácidos grasos saturados y monosaturados no encontraron diferencias entre sexos.

Con relación al color de la carne se puede concluir que en general, aunque las diferencias no son importantes, las hembras tienen una carne más oscura que los machos (Sañudo, 1993). Esto es debido a que las hembras son más precoces por lo que a una misma edad presentan una mayor concentración de mioglobina en el músculo que los machos (Beriain y Lizaso, 1998).

2.1.4 TIPO DE MÚSCULO

Los músculos de la canal presentan distintos grados de ternieza, siendo el *Psoas major* (solomillo) y el *Longissimus dorsi* (lomo) de los más tiernos y el *Biceps femorais* y el *Pectoralis superficialis* de los más duros (Schor y col, 2008). En general, los músculos que contienen un menor porcentaje de colágeno son más tiernos (Price y Schweigert, 1994). Igualmente, la solubilidad del colágeno también varía entre músculos mostrando el *Psoas major* y el *Longissimus dorsi* el mayor contenido en colágeno soluble (Campo y col., 2000; Torrescano y col., 2003) La jugosidad e intensidad del sabor tienen una menor variación entre músculos comparado con la ternieza. (Shackelford y col., 1995).

En cuanto al pH, en general existe una correspondencia entre los distintos músculos de una canal. Sin embargo, se pueden encontrar ligeras diferencias del pH final debido al tipo de fibras que contiene el músculo. Variaciones en la proporción entre fibras blancas (de contracción rápida o glicolíticas) y fibras rojas (de contracción

lenta u oxidativas) provocan que la tasa de glucógeno presente antes del sacrificio varíe de unos músculos a otros. (Sañudo y col., 1985). Por esta razón, los músculos con mayor contenido en fibras blancas poseen una mayor concentración de glucógeno y, por tanto, el pH final es menor que en los músculos con mayor proporción de fibras rojas. Además, los músculos blancos presentan una mayor actividad de las calpaínas por lo que la proteólisis *post-mortem* es más rápida e intensa (Roncalés, 2001). Esto implica que el tipo de músculo también afecta a la maduración puesto que la velocidad de ablandamiento es mayor en la musculatura blanca que en la roja (Ouali, 1990).

En lo que respecta al color también varía en función del tipo de fibras. Las fibras rojas tienen mayor cantidad de mioglobina por lo que presentan un color más oscuro. (López, Carmona y Soares; 2001). Además, los distintos músculos presentan distinta estabilidad del color siendo el *Longissimus dorsi* uno de los más estables y el *Psoas major* de los que menor vida útil presenta. Según Franco y col. (2008) los músculos ricos en pigmentos hemínicos como el *Psoas major*, que poseen una intensa actividad respiratoria, tienen un importante metabolismo aerobio y por tanto presentan una mayor oxidación de la mioglobina e inestabilidad del color. Los resultados de este estudio muestran que el contenido de mioglobina desciende rápidamente a partir de los 3 días de almacenamiento, siendo más pronunciado en *Psoas major* que en *Longissimus dorsi*.

Por último, el desarrollo del flavor también se ven afectados por la actividad respiratoria del músculo y su perfil de ácidos grasos. En los músculos con una mayor oxidación la degradación lipídica es superior y se pueden desarrollar sabores indeseables como, por ejemplo, el flavor a “rancio” debido a la degradación de los ácidos grasos poliinsaturados (Wood y Enser, 1997, Wood y col., 2008). Campo y col., (2006) mostraron que el flavor “rancio” es mayor en carne con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados. En esta carne la oxidación lipídica ocurre rápidamente mientras se encuentra almacenada.

2.1.5 ALIMENTACIÓN

Animales alimentados con piensos o dietas de alto valor energético dan como resultado mayores tasas de crecimiento y mayor grado de engrasamiento (Thompson, 2002; Kerth y col., 2007; Warren y col., 2008). Numerosos autores coinciden en que animales con un rápido crecimiento producen carne más tierna y jugosa por lo que el nivel de ganancia de peso en los meses previos al sacrificio es otro factor relacionado

con la ternura (Alberti y col., 1988; Muir y col., 1998; Lepetit, 2007). Esto se traduce en que para un mismo peso al sacrificio, animales con un rápido crecimiento dan lugar a un mayor engrasamiento lo que produce músculos con mayor contenido de grasa infiltrada y carne con una jugosidad superior. Del mismo modo, estos animales con mayor velocidad de crecimiento llegarán a su peso de sacrificio con menor edad por lo que la proporción de colágeno soluble es mayor y su carne es más tierna (Bennett y col., 1995; Kerth y col., 2007; Warren y col., 2008).

Asimismo, la alimentación influye en la composición en ácidos grasos, los cuales son muy importantes para el desarrollo del flavor característico de una carne. Dietas de alto valor energético aumentan la proporción de ácidos grasos saturados y monoinsaturados, y disminuyen la proporción de ácidos grasos poliinsaturados. Dentro de los ácidos grasos poliinsaturados, el cereal es rico en ácido linoleico (ácido graso ω -6) mientras que el pasto es rico en ácido linolénico (ácido graso ω -3). Por esta razón, dietas a base de cereal producen carne con un mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados ω -6. (Varela y col., 2004; Noci y col., 2005; Purchas y col., 2005; Warren y col., 2008). Esto implica que una suplementación, aunque sea durante un corto periodo de tiempo, modifica el perfil de los ácidos grasos (Scollan y col., 2001).

Por otro lado, a partir de la dieta ciertas sustancias liposolubles no deseadas pueden depositarse en la grasa de la canal contribuyendo, como ya se ha señalado, a alterar el flavor de la carne. Puede ocurrir que en la carne de animales alimentados con pasto aparezcan sabores descritos como “hierba” o “salvaje” que pueden provocar un rechazo por parte del consumidor acostumbrado a consumir carne de animales alimentados a base de cereal. Del mismo modo, carne de animales alimentados con pienso pueden presentar sabores extraños que afecten a la aceptabilidad general. (Stelzleni y col., 2008; Resconi y col., 2010). Por ejemplo, animales alimentados con piensos enriquecidos con omega-3 pueden dar lugar a que su carne tenga un flavor a pescado que resulte desagradable para el consumidor.

Con respecto a la estabilidad del color de la carne, ésta es mayor en animales alimentados a base de pasto debido a los mayores niveles de vitamina E que retrasa la oxidación de la mioglobina a metmioglobina (Nuernberg y col., 2005; Warren y col., 2008; Resconi y col., 2010).

El pasto y forraje también contienen β – carotenos y pigmentos afines. Schnell y col., 1997; Kerth y col., (2007) encontraron que animales alimentados con forraje

producen una grasa intramuscular más amarilla comparada con la de animales alimentados con grano, lo cual puede ser desventajoso de cara a la aceptabilidad por parte del consumidor en determinados mercados. Sin embargo, esta coloración amarilla disminuye a medida que aumenta el tiempo de finalización a base de cereal (Schnell y col., 1997; French y col., 2000).

En conclusión, un acabado intensivo con dietas a base de concentrado tiene un efecto beneficioso en el rendimiento a la canal y en la aceptabilidad general de la carne por parte de los consumidores, mejorando la palatabilidad, haciéndola más tierna y jugosa además de modificar su perfil de ácidos grasos y sabores.

2.2 FACTORES LIGADOS AL SACRIFICIO

2.2.1 ESTRÉS

Se ha visto que el estrés *ante-mortem* tienen efectos *post-mortem* en el descenso del pH que resultan en defectos en la calidad de la carne, especialmente en el grado de terneza (Apple y col., 1995; King y col., 2006). Las reservas de glucógeno en el músculo en el momento del sacrificio son función de su nivel inicial y del consumo generado por el estrés que el animal sufre durante el periodo previo al sacrificio. (Thompson, 2002). Éste consumo de glucógeno puede estar originado tanto por el estado emocional del animal como por la actividad física, por lo que es imprescindible cuidar el manejo de los animales en el momento del sacrificio. Por consiguiente, factores genéticos (incluido el temperamento) y experiencias previas siempre influyen en el grado en que los animales responden ante el estrés (Grandin, 1997; Mormède y col., 2002; Fazio y Ferlazzo, 2003). Como ya se ha indicado anteriormente, animales más excitables producen con mayor frecuencia carne con un alto pH final (Muchenje y col., 2009).

Una de las situaciones más estresantes para los animales es el transporte y espera previa al sacrificio, las cuales tienen un efecto significativo sobre la terneza y aceptabilidad general de la carne (Grandin, 2000). Tanto largos como cortos tiempos de transporte incrementan los indicadores de estrés. En un estudio realizado por Villarroel y col (2003) se determinó el efecto de distintos tiempos de transporte (30 minutos, 3 horas y 6 horas) sobre la calidad de la carne. A través de un análisis sensorial se concluyó que los panelistas preferían la carne procedente de animales que realizaron viajes de

duración intermedia (3 horas). Así pues, no solo viajes de gran duración favorecen el estrés animal sino que viajes demasiado cortos pueden ser incluso más estresantes debido a que los animales tienen menor tiempo para adaptarse a la nueva situación. (Honkavaara y col., 1999; Villarroel y col., 2003).

2.3 FACTORES POST MORTEM

2.3.1 RIGOR MORTIS

El *rigor mortis* constituye la primera etapa de transformación del músculo en carne. Tras la muerte del animal se produce un fallo nervioso, respiratorio y circulatorio. Sin embargo, la actividad enzimática del músculo se mantiene casi intacta, provocando la degradación de todo el ATP disponible (Sañudo y Campo, 2008). Tras el sacrificio también se produce una lenta despolarización de las membranas lo que provoca la salida de Ca^{2+} al espacio miofibrilar. La desaparición del ATP y la concentración creciente de Ca^{2+} provocan la unión irreversible de la actina y miosina, produciéndose el acortamiento muscular y dando lugar a la instauración del *rigor mortis*. (Forrest y col., 1979; Roncalés, 2001).

Esta rigidez muscular supone un incremento en la dureza de la carne y una disminución de la CRA. La resistencia al corte del músculo aumenta durante la instauración del *rigor mortis* debido al acortamiento de la longitud del sarcómero que puede llegar a ser de hasta de un 25% (Wheeler y Koohmaraie, 1994; Soria y Corva, 2004). El grado de acortamiento de las fibras musculares va a determinar la terneza de la carne (Dransfield, 1992).

La instauración completa del *rigor mortis* depende de múltiples factores. Entre ellos hay que resaltar la temperatura, ya que el desarrollo del *rigor mortis* es fuertemente dependiente de ella durante el almacenamiento *post-mortem*. En este sentido hay que destacar el acortamiento por frío. Este fenómeno es el resultado de la influencia de bajas temperaturas sobre el desarrollo del *rigor mortis*, que tiene como consecuencia una intensa contracción de las fibras musculares y, por tanto, un endurecimiento de la carne (Roncalés, 2001). El efecto del frío provoca la liberación masiva de Ca^{2+} que, unido al ATP, da lugar a una contracción muscular. Por tanto, para que se produzca el acortamiento por frío es necesaria la presencia simultánea de Ca^{2+} y ATP, situación que solo se produce en las primeras fases de desarrollo del *rigor mortis*.

(Roncalés, 2001; Beriain y Lizaso, 1998). Por otro lado, las altas temperaturas aceleran la velocidad de las reacciones y reducen el tiempo para alcanzar el pH final de la carne y, con ello, la instauración del *rigor mortis*. No obstante, la temperatura requerida para ello no está permitida por la legislación vigente ya que daría lugar a un crecimiento indeseable de microorganismos que alteraría rápidamente la carne, además de entrañar un riesgo para la salud (Beriain y Lizaso, 1998). Al disminuir la temperatura, disminuye la velocidad de las reacciones enzimáticas, y con ellas la velocidad de desarrollo del *rigor mortis*, sin que esto lleve asociado una variación del pH final alcanzado. (Roncalés, 2001). El acortamiento por frío también puede influir sobre la jugosidad debido a que una mayor contracción muscular lleva asociadas mayores pérdidas de agua y por tanto una reducción en la jugosidad (Beriain y Lizaso, 1998).

Por todo lo anterior, la temperatura ideal para el establecimiento del *rigor mortis* en vacuno se sitúa entre 14-20 °C. Mantener la canal por encima de 10 °C durante las primeras 10-12 horas es un método para prevenir el acortamiento por frío (Thompson, 2002). A efectos prácticos, en los mataderos (temperatura de las cámaras frigoríficas de 4 °C) se considera habitualmente que la carne ha alcanzado el *rigor mortis* a las 24 horas. Este intervalo de tiempo coincide con el requerido para que la temperatura de la canal disminuya hasta los 7 °C exigidos por la legislación (Roncalés, 2001).

Aparte del efecto del frío, la instauración del *rigor mortis* también es dependiente de otros factores como la especie animal y tipo de músculo. En vacuno la instauración del rigor mortis ocurre a las 15-36 horas. Respecto al tipo de músculo, el pH en las fibras blancas desciende más rápidamente que en las fibras rojas por lo que el *rigor mortis* se instaurará antes en músculos con mayor porcentaje de fibras blancas.

En resumen, la tensión y rigidez características del *rigor mortis* resultan finalmente en un incremento de la dureza de la carne si es consumida en ese momento. Un periodo de maduración mejora las características sensoriales y tecnológicas de la carne.

2.3.2 pH FINAL

Como consecuencia del fallo circulatorio tras el sacrificio, las reservas energéticas se consumen de manera anaerobia incrementándose los niveles de ácido láctico en el músculo debido a la carencia de un sistema de transporte que elimine los productos del

metabolismo. Este incremento de la concentración de ácido láctico es la principal causa del descenso del pH muscular (Beriain y Lizaso, 1998, López, Carmona y Soares; 2001). Así pues, el pH final de la carne es función de las reservas de glucógeno en el músculo en el momento de la muerte del animal. Estas reservas están determinadas principalmente por el mayor o menor estrés sufrido por los animales antes del sacrificio, ya sea en el transporte hasta el matadero o bien dentro de éste.

La gran importancia de que la carne alcance un pH final adecuado es que éste influye directamente en la conservación y el valor tecnológico de la carne. El valor apropiado para la carne de vacuno oscila entre 5,4 y 5,8 (Warriss 2000). Por esta razón pequeñas diferencias en el pH de la carne podrían afectar a parámetros de calidad. Músculos cuyo pH final es anómalo dan como resultado carnes con una reducida aceptabilidad general (Jacobs y col., 1973). En los casos en que las reservas de glucógeno antes del sacrificio son elevadas, el pH final es bajo y esto da lugar a carnes pálidas y con reducida CRA debido a una excesiva desnaturalización de las proteínas. Este tipo de carnes son frecuentes en la especie porcina. En vacuno ocurre el caso contrario en el que gran parte de las reservas de glucógeno pueden ser consumidas pre-sacrificio originándose carnes con un alto pH. Así pues, cuando el pH es superior a 6 a las 24 horas tras el sacrificio se tienen carnes DFD (Tornberg 1996; O'Neill, 2006; Foury, 2005; Muchenje, 2009). Estas carnes se considera que son carnes fatigadas cuya textura es gomosa y pegajosa al tacto, con un color rojo oscuro, reducida jugosidad y con sabores menos intensos que las hace indeseables para el consumidor (Roncalés, 2001). Cuanto mayor sea el pH, más marcados serán los defectos de manera que son carnes muy defectuosas las que poseen valores de pH superiores a 6,4- 6,5 (Beriain y Lizaso, 1998). Las carnes con un elevado pH final serán, en principio, más tiernas debido a que un mayor pH favorece la actividad de las calpaínas durante la maduración. Sin embargo, esta ternura quedará enmascarada por la consistencia harinosa de las carnes DFD (Roncalés, 2001).

Además, hay que señalar que el descenso del pH muscular ejerce un efecto inhibitor en algunos microbios por lo que un pH final alto promueve el crecimiento de microorganismos lo que también supone una depreciación organoléptica y nutricional de la carne (Gardner y col., 2001; Gallo y col., 2003).

2.3.3 MADURACIÓN

La falta de maduración junto con el acortamiento por frío son los principales factores que pueden disminuir drásticamente la terniza de la carne. La maduración de la carne se caracteriza por una serie de modificaciones en las características sensoriales y aptitudes tecnológicas que mejoran su calidad, originando un ablandamiento progresivo, un ligero incremento de la CRA, y el desarrollo de los aromas característicos (Beriaín y Lizaso, 1998; Roncalés, 2001). La maduración se debe fundamentalmente a la acción enzimática de las proteasas del músculo, capaces de producir cambios estructurales en las miofibrillas por la degradación de sus proteínas constituyentes. Esta actividad proteolítica ocurre, principalmente, por el efecto de calpaínas, catepsinas y del complejo proteosomal (Roncalés, 2001). A través de este proceso proteolítico se produce un ablandamiento de la carne.

Sin embargo, no se ha observado degradación de actina y miosina aún después de 14-18 días de almacenamiento, ya que dichas proteínas son resistentes a la proteólisis por calpaínas. Por tanto, el valor final de la terniza resulta de un balance entre el aumento de rigidez debido a la unión actina-miosina con la instauración del *rigor mortis* y al ablandamiento debido a un debilitamiento de la estructura miofibrilar (Taylor y col., 1995; Koochmaraie, 1996; Takahashi, 1996).

Al igual que ocurre en la instauración del *rigor mortis* y pH final, un incremento de la temperatura produce un aumento en la velocidad de ablandamiento debido a la mayor actividad enzimática de las proteasas implicadas en el proceso. No obstante, como ya se indicó con anterioridad, la conservación de la carne a las temperaturas requeridas para ello no están permitidas por la legislación vigente (Sañudo y Campo, 2008).

Por otro lado, el efecto de la maduración sobre el tejido conectivo es controvertido. Algunos autores señalan que en condiciones normales de maduración no se producen cambios en el colágeno ni en el tejido conectivo (Roncalés, 2001), mientras que otros autores apuntan a que el tejido conectivo también se degrada con la maduración (Nishimiura y col., 1998; Soria y Corva, 2004). Nishimura y col., 1998 reflejan que el tejido conectivo empieza a sufrir alteraciones estructurales a partir de 14 días de maduración.

En cuanto al tiempo de maduración Brewer y Novakofski (2008) encontraron que la mayor parte de la mejora de la terneza ocurre en los primeros 7 días. A pesar de ello, la mayoría de los autores apuntan que este periodo de tiempo es insuficiente para mejorar la palatabilidad y aceptabilidad general de la carne de vacuno, recomendando periodos de maduración de entre 7-14 días (Beriaín y Lizaso, 1998). El beneficio de la maduración está en función del grado de terneza inicial: en las piezas más duras el beneficio será mayor (Novakofski y Brewer, 2006). A través de la maduración no solo se reducen las diferencias entre carne de distintos músculos, sino también entre animales. A medida que aumenta el tiempo de maduración, las diferencias entre individuos van disminuyendo (Monsón, Sañudo y Sierra (2004, 2005)).

La maduración de la carne ejerce un efecto muy importante sobre su palatabilidad y sobre el desarrollo del flavor. Durante la maduración se produce un aumento del flavor de la carne debido a la degradación de las proteínas y de la grasa intramuscular, y un aumento de la jugosidad debido al ligero incremento de la CRA (Smith y col., 1978; Beriaín y Lizaso, 1998). Sin embargo, largos periodos de maduración pueden dar lugar a sabores extraños como, por ejemplo, “rancio” o “agrio” (Spanier y col., 1997; Zamorano y col., 2002).

Por último, el color de la carne también se ve afectado con la maduración, aumentando el valor de las coordenadas de color L* (luminosidad), a* (rojo) y b* (amarillo) debido a que las proteínas sufren una degradación a lo largo de la maduración y la CRA desciende provocando un aumento de la reflectancia de la carne (Warriss y Brown, 1987; Bruce y col., 2004). Esto hace que tras un tiempo de maduración la carne adquiera un color rojo más intenso. Sin embargo, largos periodos de almacenamiento en atmósfera no controlada provocan un oscurecimiento de la carne como resultado de la oxidación de sus pigmentos.

2.3.4 MANIPULACIÓN DE LA CANAL

Colgado de la canal

El propio colgado de la canal durante el período de instauración del *rigor mortis* puede influir de una forma directa en el grado de contracción del músculo y, por tanto, en la dureza de la carne (López, Carmona y Soares; 2001). Cuando la canal es suspendida su propio peso genera una tensión en algunos músculos, ligamentos y

huesos. Herring y col., (1965), Hostetler y col., (1972) y Quarrier y col., (1972) estudiaron los efectos de la suspensión en la terneza de la carne y encontraron una gran correlación entre la longitud del sarcómero y la fuerza de corte en diferentes músculos. El colgado tradicional de la canal por el tendón de Aquiles provoca un acortamiento en músculos como el *Longissimus dorsi*. Esto supone una menor longitud del sarcómero lo que implica un aumento del diámetro de las fibras musculares y un descenso de la terneza (Herring y col., 1965). Si la suspensión se la canal se realiza por el hueso pélvico (*tenderstretch*) la tensión generada en los músculos del cuarto trasero es mayor. De esta forma durante la instauración del *rigor mortis* disminuye el acortamiento de las fibras musculares de los cortes más valiosos. No obstante, esta técnica no está generalizada a nivel comercial por requerir mayor espacio durante el enfriado en las cámaras frigoríficas, por originar una alta incidencia de ruptura del ligamento sacrociático lateral, así como una alteración de la forma de los cortes comerciales (Ferguson y col., 1999; Tompson, 2002).

Estimulación eléctrica

La estimulación eléctrica consiste en la aplicación a la canal de una corriente eléctrica que actúa como un impulso nervioso provocando la contracción muscular. Las diferencias en la terneza de la carne de distintos animales y músculos podrían disminuirse con la aplicación de una estimulación eléctrica a las canales inmediatamente después del sacrificio (King y col., 2006). El principal objetivo de esta técnica es evitar el acortamiento de las fibras por frío ya que la aplicación de esa corriente eléctrica provoca intensas contracciones musculares que promueven la glucólisis y el rápido descenso del pH, instaurándose y resolviéndose el *rigor mortis* de una forma más rápida (Soria y Corva 2004). Con ello se puede permitir una refrigeración o congelación precoz de las carnes evitando la contracción del músculo debido a un enfriamiento demasiado rápido (Mohino, 1993).

Inyección de sales de calcio

La inyección de cloruro de calcio (CaCl_2) en el músculo tras el sacrificio puede emplearse para estimular la actividad de las calpaínas y obtener así una mayor terneza de la carne por la acción proteolítica de dichas enzimas sobre la estructura miofibrilar (Clare y col., 1997; Chacón, 2004). Los músculos más beneficiados por esta técnica

serán aquellos que presenten una mayor dureza (Wheeler y col., 1992; Wheeler y col., 1993).

Se recomienda inyectar el calcio a las 24 horas post-mortem una vez instaurado el *rigor mortis*. La inyección anterior a la resolución del rigor puede provocar una mayor dureza final de la carne ya que el calcio contribuye a la contracción muscular (Thompson y Dobbie, 1997).

La inyección de sales de calcio, en caso de superar el volumen recomendado, puede afectar a la palatabilidad de la carne ya que es posible que se desarrollen sabores extraños derivados del exceso de ión cloruro (Got y col., 1996; Lourdes y col., 1998; Warriss, 2000).

3. MEDIDA DE LA TEXTURA

Para la evaluación de la textura de la carne pueden usarse métodos instrumentales y métodos sensoriales. Los métodos instrumentales se basan en la determinación de las características mecánicas del alimento mediante la aplicación de una fuerza. Sin embargo, mediante el análisis sensorial se pueden evaluar una serie de atributos, como jugosidad, que no se pueden determinar de forma objetiva por lo que el análisis sensorial sería la forma más adecuada de evaluar la textura. Además, en el análisis sensorial el valor que se da a un atributo (por ejemplo, la dureza) está influenciado por el resto de atributos por lo que ofrece una representación más útil y completa de las características de un producto en comparación con los métodos instrumentales. (Szczeniak y col., 1963; AMSA, 1995).

3.1 MEDIDAS INSTRUMENTALES

Entre los métodos instrumentales utilizados para medir la dureza de la carne se pueden encontrar medidas de corte, compresión, tensión o penetración aplicadas tanto de forma paralela como de forma perpendicular a la dirección de las fibras musculares que permiten estudiar el comportamiento mecánico de las fibras y de la red de colágeno (Beriain y Lizaso, 1998).

Una de las principales ventajas de estos métodos es que son más económicos, tanto en tiempo como en dinero, y están menos sujetos a error que los métodos

sensoriales. Sin embargo, no permiten determinar preferencias o aceptabilidad (Wheeler y col., 1997; Beriain y Lizaso, 1998).

Las técnicas de estimación instrumental de la dureza más utilizadas son resistencia al corte y compresión.

3.1.1 Resistencia al corte (Warner – Bratzler)

La determinación instrumental de la terneza normalmente se mide por la técnica de Warner – Bratzler Esta técnica fue creada en 1928 por Warner y Bratzler. Se trata de una célula de cizallamiento asociada a un texturómetro que mide la fuerza requerida para efectuar un corte de una muestra en el sentido perpendicular de las fibras musculares. Con este sistema, además de determinar la fuerza máxima de corte, se obtiene amplia información del comportamiento del alimento gracias a la disponibilidad de la curva completa, en la cual se refleja la resistencia del alimento a la fuerza aplicada en función del tiempo (Lepetit y Culioli, 1994; Campo y col., 2000; Soria y Corva, 2004).

La técnica de Warner – Bratzler es un sistema relativamente barato y proporciona resultados de una metodología estandarizada, por lo que pueden ser comparados entre laboratorios. Por ello, es uno de los sistemas para determinar la dureza de la carne más utilizado.

A pesar de las ventajas que presenta esta técnica, un análisis de la resistencia de corte es útil como indicador de terneza pero no tiene en cuenta otras características de la carne. Por tanto, para determinar el perfil de textura de una carne es necesario complementar las medidas obtenidas a partir de Warner – Bratzler con otras pruebas (Perry y col., 2001).

3.1.2 Compresión

Otro tipo de medidas instrumentales son aquellas que intentan imitar las condiciones que sufre el alimento en la boca. Dentro de este tipo se encuentra el test de compresión.

Hay dos tipos de compresión:

- Doble compresión: consiste en una doble compresión del alimento hasta un porcentaje de la altura inicial imitando la acción de la mandíbula. Entre los parámetros obtenidos se encuentran la dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad, que se calculan a partir de distintas variables tomadas de la doble curva de compresión (Figura 3) (Zulet, 2000).

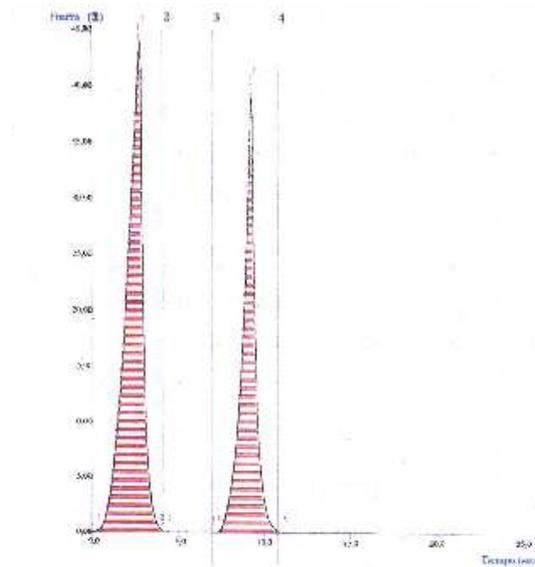


Figura 3: Análisis del perfil de textura. Doble compresión

- Compresión simple: consiste en la compresión continua del alimento a velocidad constante y hasta el 100 % de la compresión. La compresión simple, en comparación con la doble compresión, proporciona mayor información sobre los cambios que se producen en las propiedades mecánicas del alimento (Figura 4) (Zulet, 2000)

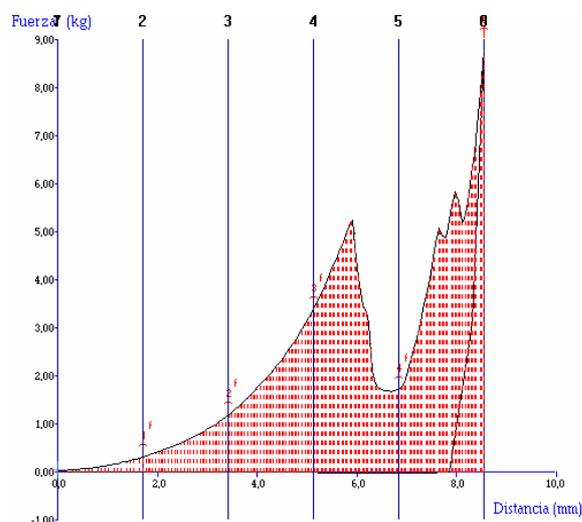


Figura 4: Análisis del perfil de textura. Compresión simple

La resistencia de la carne cruda está altamente correlacionada con el contenido en colágeno (Dransfield y col., 2003; Torrescano y col., 2003). El método de compresión se considera un buen indicador del efecto del contenido de tejido conectivo en la dureza de la carne, especialmente la fuerza necesaria para deformar la muestra de carne entre 60 y 80 % de su altura máxima (Bouton y Harris, 1972a, 1972b; Burrow y col., 2001; Bruce y col., 2004).

Debido a que el tejido conectivo puede incrementar su resistencia a la compresión por encima del de las fibras musculares cuando el músculo alcanza una temperatura de 64 °C, la fuerza de rotura en carne cruda refleja principalmente la resistencia del colágeno, mientras que la fuerza de rotura de carne cocinada puede considerarse una medida de la dureza de las miofibrillas (De Smet y col., 1998; Torrescano y col., 2003).

3.2 ANÁLISIS SENSORIAL

Mediante un análisis sensorial se evalúan los alimentos utilizando los sentidos humanos como instrumentos de medida. Estas valoraciones son las más adecuadas ya que son las más cercanas a la evaluación que sufrirá el alimento por parte de los consumidores. Los atributos que más influencia tienen en la aceptabilidad total de la carne son la terneza, jugosidad y flavor, siendo la terneza el atributo sensorial más importante en carne de vacuno (Robbins y col., 2003; Feuz y col., 2004; Dikeman y col., 2005).

El análisis sensorial puede realizarse principalmente a través de dos tipos de paneles: el panel entrenado cuyo objetivo es determinar la intensidad o la presencia / ausencia de los atributos evaluados y así establecer diferencias significativas entre muestras; y el panel de consumidores, diseñado para valoraciones hedónicas y de aceptabilidad (Price y Schweigert, 1994; Sañudo y Campo, 2008).

3.2.1 Panel entrenado

Mediante la selección y el entrenamiento los miembros de un panel sensorial aprenden las técnicas de enjuiciamiento y análisis crítico de un número determinado de atributos sensoriales de un alimento, adquiriendo mayor seguridad y exactitud en sus valoraciones. Los miembros de un panel entrenado están especializados en valorar atributos específicos de la calidad, independientemente de otras dimensiones

sensoriales. Tienen la capacidad de identificar y describir las impresiones de sapidez, evaluar la intensidad de un atributo y detectar diferencias que normalmente pasan desapercibidas para los consumidores (Price y Schweigert, 1994).

Un panel entrenado está constituido por un reducido número de personas, normalmente entre 5 y 20. Es preferible evaluar sólo un factor en cada sesión pero algunos de los factores están tan íntimamente relacionados que con frecuencia hay que determinarlos conjuntamente (Price y Schweigert, 1994).

Tal como exponen Costell y Durán (1981) las pruebas realizadas en un panel entrenado son de dos tipos: discriminatorias y descriptivas.

- Pruebas discriminatorias: tienen como objetivo determinar si se perciben diferencias significativas entre muestras. Las pruebas discriminantes más empleadas son la comparación paralela, prueba A – no A, prueba dúo – trío y prueba triangular.
- Pruebas descriptivas: la evaluación se lleva a cabo mediante la categorización o puntuación para la característica a valorar. En el caso de la categorización, se determina el grado de intensidad de un atributo. En el caso de la puntuación se determina la dirección y la magnitud del mismo. Aunque es habitual en los ensayos con paneles entrenados encontrar fichas de cata con variables del tipo “aceptabilidad sensorial” un panel entrenado no puede utilizarse para evaluar la aceptabilidad o la preferencia de un producto, ya que estas no pueden ser entrenadas ni el panel tendrá un número suficiente e personas como para representar a una población.

3.2.2 Panel de consumidores

El objetivo de un panel de consumidores es indicar preferencias y/o grado de preferencia de una muestra. A diferencia de un panel entrenado, las valoraciones que se realizan en un panel de consumidores son hedónicas (preferencia o aceptación) evaluando el alimento y sus características de forma integral (Sañudo, 1993).

Para evaluar la aceptabilidad de un producto la opinión del consumidor es la verdaderamente importante ya que la calidad sensorial no es una característica intrínseca del alimento, sino el resultado de la interacción entre el alimento y el hombre, determinada por antecedentes socioculturales y con la información de que se dispone al

evaluar el alimento. Por tanto, los paneles de consumidores son la fase final para predecir la aceptación comercial de un determinado producto (Beriain y Lizaso, 1998).

Un panel de consumidores debe ser representativo del grupo de población al que van a aplicarse los resultados, estando constituido por muchas personas, generalmente un centenar o más. Los paneles de consumidores no necesitan ser sometidos a un entrenamiento ya que no es posible entrenar el grado de aceptación o preferencia por un producto. Respecto a los sistemas de calificación, las escalas empleadas en un panel de consumidores son mucho más simples que las del panel entrenado (me gusta / no me gusta) o indican el producto preferido (Price y Schweigert, 1994).

Las medidas obtenidas con métodos instrumentales deben correlacionarse con los resultados de los análisis sensoriales para que el uso de las técnicas instrumentales sea válido y fiable (Issanchou y col., 1996).

Sin embargo, la percepción sensorial involucra a factores que no se limitan a las variables medidas de forma instrumental e incluye la interacción entre dichos factores por lo que estos métodos no son auxiliares a los sensoriales y no pueden sustituir nunca al ser humano ya que es éste el que determina la aceptabilidad de un producto.

4. COMPOSICIÓN QUÍMICA

4.1 MEDIDA DE LA GRASA INTRAMUSCULAR

El nivel de engrasamiento tiene gran influencia tanto en la calidad sensorial como nutricional de la carne (Wood y col., 2008). Aunque en los últimos años, en la literatura científica se ha dado más importancia a la calidad y composición de la grasa que a la cantidad de ésta (Webb y O'Neil, 2008). La grasa intramuscular es la principal responsable tanto de la jugosidad de la carne como de su flavor característico. La jugosidad de la carne se puede dividir en dos percepciones. La primera es la impresión de humedad del alimento durante los primeros mordiscos producida por la liberación rápida de fluidos. La segunda consiste en una jugosidad debida a la liberación lenta de suero y al efecto estimulador que tiene la grasa en la producción de saliva. Ya que esta última percepción perdura mucho más en tiempo que la liberación inicial de fluidos y el flavor es determinante en la deseabilidad por parte del consumidor, la determinación de

la cantidad y composición de la grasa intramuscular de la carne es un parámetro fundamental para determinar su calidad (Price y Schweigert, 1994).

La evaluación de la grasa de la carne puede hacerse a través de análisis cuantitativos y cualitativos. Los métodos cuantitativos se basan en la determinación de la cantidad de grasa intramuscular de la carne. Sin embargo, mediante los análisis cualitativos se puede evaluar la composición de la grasa determinando el porcentaje de cada uno de los ácidos grasos que la componen.

4.1.1 EVALUACIÓN CUANTITATIVA

Cuantificación grasa intramuscular

Los lípidos se definen como un grupo heterogéneo de compuestos que son insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos. Por tanto, el porcentaje de grasa es normalmente determinado por un proceso de hidrólisis y desecación seguido de la extracción de la grasa con un solvente orgánico que suele ser hexano, cloroformo o éter. Para la extracción se puede utilizar tanto el equipo Soxhlet como el Goldfish en los cuales se hace circular el solvente a través de la muestra de carne para extraer el componente lipídico, y el contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso (ISO R-1443, 1973; BOE 29/8/79, 1973; Kinsman y col., 1994).

Grado de veteadado

El veteadado o marmoleado (marbling) es el nombre que se le da a la grasa visible presente en los espacios interfasciculares del músculo y que da a la carne un aspecto veteadado. Para la calidad de la carne no sólo importa su contenido en grasa intramuscular sino, también, su distribución en el tejido muscular. Un veteadado uniforme y disperso finamente por la carne mejora su palatabilidad haciendo la carne más jugosa al actuar como lubricante entre las fibras musculares y favoreciendo al flavor del producto cocinado (Wheeler y col., 1994, Elmore y col., 1999). Existe una correlación positiva entre el veteadado y el engrasamiento general de la canal (Vernon, 1986; Mendizabal y col., 1999; Indurain y col., 2009).

El método más seguro de determinar el contenido graso de la carne es el análisis químico de la misma (Powel y Huffman, 1968). Sin embargo, la disección de la canal en carne, grasa y hueso es un indicador más útil de la composición del despiece comercial

de la canal, ya que los cortes comerciales incluyen el veteado (Lunt y col., 1985). Un método más barato sería la disección física de las costillas (Geay y Berenger, 1969). Sin embargo, el alto coste económico y de tiempo hacen inviable la aplicación de estas técnicas en la industria.

La evaluación visual por evaluadores cualificados es un método ampliamente utilizado en la determinación del grado de engrasamiento de la canal vacuna (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 1997; Regulación de la Unión Europea 1208/81). En los Estados Unidos (United States Standards for Grades of Carcass Beef), la evaluación visual del grado de veteado es el principal factor para la determinación del “quality grade” o grado de calidad organoléptica de la carne de vacuno. Este grado de veteado se divide en una escala de 10 puntos: muy abundante, abundante, moderadamente abundante, ligeramente abundante, moderado, modesto, poco, ligero, trazas y prácticamente desprovisto (Figura 5) (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 1997; American Meat Science Association, 2001). En este sistema de evaluación el veteado se mide sobre la superficie de corte del *Longissimus dorsi* obtenido a la altura de la 12^a / 13^a costilla. En la Unión Europea, la clasificación de las canales de vacuno por conformación y engrasamiento son los puntos claves en la clasificación y valoración económica de las canales. En la clasificación por engrasamiento se tiene en cuenta la grasa de cobertura y la de la cavidad pelvcorenal. El principal problema de la clasificación visual es que es un sistema subjetivo, inconsistente y sujeto a influencias, y, a pesar de estar sujetos a sistemas de control y monitorización rigurosos, es difícil justificar su objetividad (Allen, 2007).

Se han estudiado distintos métodos instrumentales de medida del nivel de engrasamiento de la canal y la carne que proporcionen una determinación precisa, rápida y segura. En vacuno, para medir el grado de veteado se han empleado tecnologías como los ultrasonidos (Perkins y col., 1997; Herring y col., 1998; Indurain y col., 2009), el análisis computerizado de imágenes (Gerrard y col., 1996; Kuchida y col., 2000; Mendizabal y col., 2005), la reflectancia del infrarrojo cercano o NIRs (Windham y Morrison, 1998) y la resonancia magnética (Baulain Y Scholz, 1996).

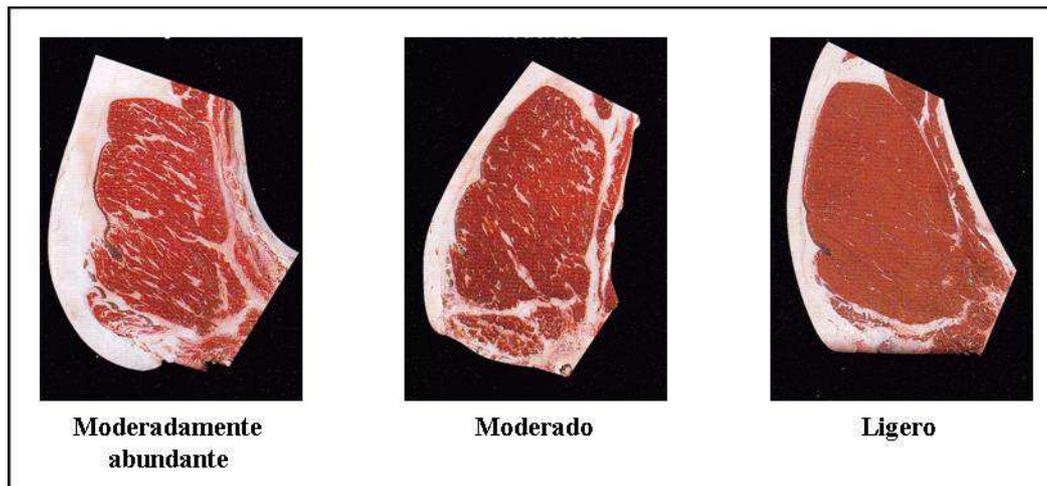


Figura 5: Límite inferior de veteado para tres niveles de clasificación

4.1.2 EVALUACIÓN CUALITATIVA

Composición en ácidos grasos

Es importante estudiar cada uno de los constituyentes de los lípidos por la influencia que pueden presentar en las características sensoriales de la carne y en el valor nutricional de la carne (Wood y col., 2008).

En cuanto al valor nutricional de la composición de la grasa, el nivel de colesterol y los ratios de ácidos grasos poliinsaturados/saturados (PUFA/SFA) y el ratio de los ácidos grasos poliinsaturados *n-6/n-3* han sido ampliamente empleados para evaluar el valor nutricional de la grasa (Webb y O'Neil, 2008).

El flavor de la carne es uno de las principales determinantes en la aceptabilidad de la carne. Los sabores y aromas característicos de la carne son consecuencia de la oxidación de los compuestos lipídicos precursores de los compuestos volátiles responsables del perfil de aromas y sabores (Pearson y col., 1992). Dupuy y col., (1987) encontraron más de 200 compuestos volátiles derivados de la grasa intramuscular en carne de vacuno, por lo que se puede afirmar que la cantidad y composición de este depósito graso determinan tanto la intensidad como las características del aroma y flavor de la carne de vacuno (Dikeman, 1987; Savell y col., 1987).

La determinación del perfil lipídico se realiza a través de una extracción de la grasa de la muestra, seguida de una metilación de los ácidos grasos y posterior

identificación y cuantificación por medio de cromatografía de gases con ayuda de un patrón interno (Figura 6) (Beriain y col., 2005)

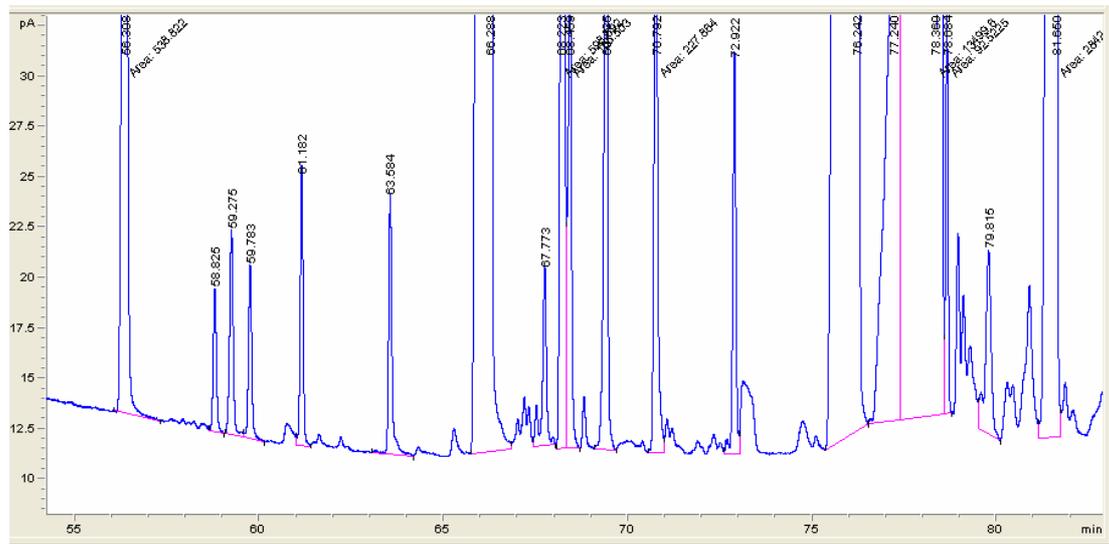


Figura 6: detalle del cromatograma con los tiempos de retención de una muestra de carne de toro de lidia

4.2 COLÁGENO

A través de la determinación del contenido en colágeno y de la solubilidad del mismo puede estimarse la dureza de la carne (Beriain y Lizaso, 1998). Como ya se ha señalado con anterioridad, el colágeno es el principal componente del tejido conectivo de los músculos, con gran influencia en la dureza de la carne. La hipótesis general es que el colágeno determina la textura de la carne (cuando el acortamiento durante la instauración del *rigor mortis* es evitado) y que las variaciones sutiles en la textura dependen más de la calidad que de la cantidad de colágeno. Por ello es importante determinar tanto el contenido en colágeno total como el colágeno soluble de la carne para hacer un perfil de su textura (Torrescano y col., 2003).

El método de determinación de la cantidad de colágeno se realiza a través de un ensayo de hidroxiprolina. Las muestras se someten a una digestión ácida, precedida de una extracción ácida en el caso de la determinación de la cantidad de colágeno soluble.

5. TORO DE LIDIA

Las características de la carne de lidia, tal como recoge Sanz Egaña en su *Enciclopedia de la carne* (1967), viene determinadas por dos tipos de factores fundamentales: por un lado el animal de procedencia y sistema de producción y por otros factores relativos al sacrificio como pueden ser estrés, desangrado y faenado post-sacrificio; así tenemos:

5.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN

La crianza del toro de lidia ha estado vinculada tradicionalmente a las cuencas hidrográficas de los ríos Duero, Tajo y Guadalquivir. Aunque también está presente en un territorio aislado de la cuenca del Ebro que se centra en las provincias de Zaragoza y Navarra. En general, las ganaderías de lidia se extienden por áreas secas del centro, oeste y sur peninsular. El mayor número de explotaciones aparece en Andalucía, seguida de Castilla y León y Extremadura, mientras que a nivel provincial destaca su presencia en Salamanca, Sevilla y Cádiz. En ausencia de datos en los 2 últimos años se puede decir que el número de ganaderías inscritas ha aumentado un 38% en los últimos 20 años, contando en 2009 con 1.209 ganaderías (Anuario estadístico del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino MARM, 2010). En cuanto al número de terneros herrados, el crecimiento fue continuo hasta el año 2003 (33.072 terneros herrados frente a los 27.610 terneros herrados de 1990). Sin embargo, dichos efectivos ganaderos descendieron a partir de ese año contando en 2009 con 27.733 terneros herrados, tan solo un 0.5% superior a 1990 (Anuario estadístico del MARM, 2010).

Con respecto al número total de festejos taurinos mayores celebrados en España (corridos de toros, festejos de rejones, novilladas con picadores y otros festejos con picadores), éstos han sufrido una evolución negativa contabilizándose en 2010 (1.724 festejos) un 34,25 % menos que en 2007 (2.622 festejos). En 2010 un total de 4.043 toros y 5.256 novillos fueron lidiados en las plazas españolas, de los cuales 844 y 458 respectivamente corresponden a plazas de primera categoría (Estadísticas taurinas de la Universidad de Castilla – La Mancha).

La localización espacial del censo se explica por la necesidad de disponer de suficiente extensión de tierra para poder explotar la raza. El método tradicional de

explotación del ganado de lidia continúa siendo, en su inmensa mayoría, un **sistema extensivo**. Por ello, el principal ecosistema de producción del toro de lidia es la dehesa. La mayor parte de estos terrenos no son rentables para cultivos agrícolas pero sí para cultivos forrajeros, destinándose al aprovechamiento ganadero y cinegético (Berriain y Purroy, 1999).

Es importante señalar que la principal característica del ganado de lidia es que el objetivo de su explotación se centra en la producción de comportamiento en forma de bravura, yendo dirigidos todos los esfuerzos de selección hacia la mejora de este carácter de comportamiento. Por tanto, la carne de estos animales es considerada un subproducto de la explotación. Para tener éxito en una cría de ganado bravo es muy importante la selección de los sementales y las madres y una adecuada alimentación. Está probado que la bravura es hereditaria y que por tanto se puede mejorar por selección. En una ganadería brava, tanto los toros como las vacas son sometidos a la “tienta” para determinar su bravura. Las vacas que superan la prueba pasan al rebaño de vacas madres y las que no se llevan directamente al matadero (Purroy, 1988).

Durante los primeros días de su vida es muy importante que el becerro ingiera la máxima cantidad (2-3 kg) de calostro. Durante las 4-5 primeras semanas de vida, el becerro solo ingiere leche de la madre. A partir de este tiempo el animal comienza a ingerir hierba de pasto (Purroy y Mendizabal, 1996). Con 4-5 meses las necesidades del becerro no pueden ser cubiertas por la madre y es necesaria la complementación de la alimentación. Cuando el animal tienen 6-8 meses (100-150 kg. de peso vivo) se produce el destete y a partir de aquí sus crecimiento será mayor cuanto mayor sea la cantidad de hierba disponible.

La primera cubrición de las vacas de lidia se produce por lo general en estado de eralas (2-3 años de edad), período en que se encuentran en pleno crecimiento aunque es necesario que hayan adquirido un cierto estado de desarrollo (Purroy y Mendizabal, 1996). Normalmente la cubrición coincide con el comienzo de la primavera y el buen desarrollo de la hierba. De esta forma la alimentación podrá ser completa y equilibrada y se evitarán retrasos en la aparición del celo y se facilitará la fecundación. Durante la última etapa de la gestación, cuando apenas hay pasto en el campo, la alimentación de las vacas madres se complementa con forraje y alimento concentrado.

En cuanto a la **alimentación**, los pastos constituyen la oferta más importante de recursos naturales de la dehesa para el ganado de lidia. La calidad de los pastos varía

según la época del año, siendo necesaria la suplementación con forrajes y concentrados en épocas de escasez. El aporte de un complemento energético en forma de cereales no solo permite mantener un cierto nivel de crecimiento en animales jóvenes, sino que debe asegurar un buen acabado o engorde en los toros de *saca* ya que, durante la etapa final, los concentrados constituyen la base de la alimentación de los toros de lidia para conseguir que los ejemplares alcancen los pesos mínimos que se exigen en las plazas. (Purroy y Mendizabal, 1996). No obstante, hay que señalar que la raza de lidia es un exponente claro de raza rústica que posee menores necesidades de mantenimiento que las razas mejoradas (Purroy, 1988).

5.2 SACRIFICIO

Los toros, desde el momento en que salen de su medio natural para ser transportados a la plaza y hasta que se produce su muerte en el ruedo, tendrán que soportar una serie de cambios que poseen un fuerte efecto estresante sobre su organismo, afectando a las características organolépticas de la carne obtenida. Es importante señalar las largas distancias que recorren estos animales desde la ganadería hasta las plazas. En algunos casos como Pamplona, donde las ganaderías se encuentran hasta a 1000 km de distancia, los animales realizan el viaje en un solo día. Tras el viaje los animales permanecen estabulados en la ciudad de destino durante unos días para que puedan recuperarse del largo viaje. En resumen, el constante estrés al que se ven sometidos los toros y el intenso ejercicio físico que realizan los animales durante la lidia se traduce en el agotamiento de las reservas de glucógeno. Esto va a impedir que se produzca el suficiente ácido láctico para que la carne se acidifique y alcance el pH adecuado. El *rigor mortis* se instaura rápidamente al igual que la fase de maduración y, por tanto, aparecen trastornos durante la maduración (Beriain y Purroy, 1999; Purroy, 2003). Según un estudio realizado por Beriain y col., (2011) el pH de este tipo de carne a las 48 horas *postmortem* se mantuvo por encima de 6,0 en todos los toros analizados. Además, debido a la edad de estos animales son necesarios periodos de maduración mayores en comparación con carne de vacuno procedente de animales de mismo peso y un año de edad (Watanabe y col., 1996; Lizaso, 1998; Verbeke y Vackier, 2004; Beriain y col., 2011).

Además es importante añadir que durante la lidia el toro sufre dos tipos de castigos: la puya y las banderillas. Estos hierros provocan destrozos en la musculatura y

un sangrado defectuoso. Todas estas condiciones modifican las características de la carne en mayor medida que los factores *antemortem*.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE TORO DE LIDIA

La carne de toro de lidia se muestra como una carne roja, de gran firmeza y textura característica de un animal de elevada edad pero con bajo contenido en grasa intramuscular, como consecuencia de su sistema de producción en régimen extensivo y de las características propias de la raza. Beriain y col., (2011) ya indicaron que la carne de toro de lidia presenta un menor contenido en grasa total que otras razas de vacuno. El contenido de colágeno total es similar al de animales de un año de edad alimentados a base de concentrado. Sin embargo, el porcentaje de colágeno soluble es menor en toros de lidia (Lizaso y col., 1997; Beriain y col., 2011). Por tanto, la baja solubilidad del colágeno sugiere que esta carne es más dura ya que el colágeno no gelatiniza con la cocción y la carne no alcanza el nivel de ternura adecuado (Lizaso, 1998). Además, se trata de machos no castrados de más de 4 años de edad y con una dieta a base de pasto lo que implica un aumento del carácter oxidativo de la carne y un alto contenido de fibras cortas (Cassar-Malek y col., 1998; Hocquette y col., 2000; Picard y col., 2009).

En resumen, el sistema de producción de este tipo de ganado (raza, peso y edad al sacrificio) y la lidia confieren a la carne una palatabilidad específica diferente de otras razas de carne.

5.4 COMERCIALIZACIÓN

La carne de toro de lidia forma parte de nuestra cultura gastronómica y es aceptada por los consumidores por sus cualidades culinarias y un menor precio que el resto de vacuno sacrificado en matadero. Sin embargo, el consumo de carne de toro de lidia es muy estacional limitándose a épocas muy concretas y de pequeña duración relacionadas directamente con fiestas populares. El consumidor no tiene un concepto claro de la carne de toro de lidia, ya que desconoce su crianza natural y su sabor característico. Este hecho dificulta la integración de este tipo de carne en el mercado.

Hay que señalar que la carne de ganado bravo no procede únicamente de los animales lidiados en plazas de toros. Existen otros animales de lidia que son sacrificados en el matadero sin haber sufrido el estrés de la lidia: vacas de desecho, eralas de desecho de la tintera y todos aquellos animales que deben ser sacrificados por inutilizarse para la lidia (rotura de cuernos, cornadas, etc.). La producción total de carne de ganado bravo en nuestro país puede suponer alrededor de las 5.000-6.000 t/año de carne canal, procedente de unas 25.000-30.000 reses/año (Purroy 1998). Los animales lidiados en plazas de toros tan solo suponen el 35% de esta carne (Caballero, 2002).

Según el Real Decreto 260/2002 del 8 de marzo esta carne solo puede comercializarse en fresco (puede estar refrigerada o congelada) y en ningún caso puede ser picada ni transformada en preparados cárnicos y otros productos de origen animal. En el mostrador de venta debe aparecer perfectamente identificada como “carne de lidia” y separada netamente del resto de carnes y productos cárnicos.

CAPITULO III:

OBJETIVOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

OBJETIVOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El Objetivo del presente Trabajo Fin de Carrera es caracterizar la calidad fisico-química de la carne de toro de lidia, faenados y sacrificados en la Feria de San Fermín 2012.

Para alcanzar este objetivo se han evaluado los siguientes parámetros en la carne:

- A las 24 horas post sacrificio
 - pH
 - Composición química: contenido en grasa intramuscular, y humedad
 - Perfil de ácidos grasos del depósito intramuscular
- Además se ha estudiado el efecto de la maduración de la carne entre las 24 horas post sacrificio y los 14 días post mortem en las siguientes variables:
 - Composición química: colágeno total y soluble.
 - Textura instrumental de la carne, medida por un ensayo de compresión uniaxial.

En el siguiente apartado de Material y Métodos se describe el sacrificio de los animales y el manejo post mortem de la canal y la carne. Además se hace una descripción detallada de las técnicas instrumentales utilizadas.

CAPITULO IV:

MATERIAL Y MÉTODOS

1. SACRIFICIO Y TOMA DE MUESTRAS

La carne fue obtenida de 12 animales sacrificados durante la Feria de San Fermín 2011. Los animales pertenecían a dos ganaderías, (Ganadería A y Ganadería B), lidiadas los días 13 y 14 de julio. Los toros fueron sacrificados en el ruedo al final de la lidia y las canales se procesaron en las instalaciones de la plaza de toros para luego ser llevadas a las instalaciones de la empresa “Matadero de Pamplona S.A.”, donde se colgaron del tendón de Aquiles y se mantuvieron durante 4 horas a temperatura ambiente (18 °C). Posteriormente las canales fueron refrigeradas durante 24 horas a 2 °C y 98% de humedad relativa.

A las 24 horas post-mortem las muestras de carne fueron retiradas del músculo *Longissimus dorsi* (entre la 6ª y 9ª costilla), el cual se dividió en filetes de 1,5 – 2,0 cm de grosor, eliminando su grasa subcutánea. Las muestras fueron cortadas de forma perpendicular a la orientación de las fibras musculares. Las muestras fueron envasadas a vacío y aquellas que no fueron sometidas a maduración se congelaron inmediatamente. El resto de muestras se mantuvieron a 4 °C durante 14 días tras los cuales fueron congeladas y almacenadas a -28 °C hasta sus análisis. Las muestras fueron identificadas mediante un código compuesto por el tiempo de maduración, ganadería y orden en que fue lidiado el animal.

pH

El pH fue medido a las 48 horas post-mortem entre la 5ª y 6ª costilla por un “Orion Research Potentiometer” (modelo 290A, Barcelona) para muestras sólidas. Los valores de pH obtenidos en todas las canales oscilaron entre 5,8 y 6,3.

2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CARNE

2.1 HUMEDAD

Para determinar la humedad de las muestras de carne se siguió el protocolo marcado por la ISO R-1442 y los Métodos Oficiales de Análisis de Productos Cárnicos (BOE 29/8/79).

Lo primero es secar en la estufa a 100 °C durante 2 horas los crisoles de porcelana conteniendo arena de mar (3-4 veces el peso de la muestra) y una varilla de vidrio. Una vez transcurrido este tiempo se sacan los crisoles de la estufa y se dejan enfriar en el desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente (tiempo aproximado de 2 horas). Al llegar a dicha temperatura, los crisoles son pesados en la balanza analítica (M_0). Una vez pesados, se añade en el crisol una cantidad aproximadamente 5 gramos de muestra que previamente ha sido triturada y homogeneizada. Se anota el peso exacto del crisol con la muestra (M_1). Luego añadimos 5 ml. de etanol al 95% y, con la ayuda de la varilla de vidrio, se mezclan la muestra y etanol con la arena de mar. Una vez mezclado, el crisol se coloca en un baño de agua regulado a una temperatura 60-80 °C hasta que se evapore el etanol añadido. A continuación, se seca la muestra durante 10 horas en la estufa a 100 °C hasta obtener un peso constante y después, se coloca el crisol en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente y se pesa (M_2).

El % de humedad se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{(M_1 - M_0)}$$

M_0 = Masa en gr. del crisol, varilla y arena

M_1 = Masa en gr. del crisol, varilla, arena y muestra antes del secado

M_2 = Masa en gr. del crisol, varilla, arena y muestra después del secado.

2.2 GRASA

Para la determinación de la grasa de las muestras de carne se siguió el protocolo marcado por la ISO R-1443 y los Métodos Oficiales de Análisis de Productos Cárnicos (BOE 29/8/79).

Previamente a cualquier tipo de operación, los matraces son secados en la estufa durante 2 horas y se dejan enfriar hasta la temperatura ambiente para ser pesados en la balanza analítica con precisión de 1 mg (M_0).

Para la determinación del contenido en grasa de la carne se pesan 5 gr. de muestra con aproximación de 1 mg. (M_1) y se introducen en un matraz redondo de 500 ml al que se le añadieron 100 ml. de ácido clorhídrico 3N y unos trozos de piedra pómez. Los matraces se cubren con un vidrio y la mezcla se somete a una ebullición suave en la placa calefactora durante 1 hora. Al retirar los matraces de la placa calefactora se enfrían y se filtran las muestras sobre un doble filtro evitando cualquier poso de materia grasa al filtrado. A continuación, el residuo se lava con agua fría hasta la desaparición de la reacción ácida y se verifica que en el filtrado no existía materia grasa. Después, se coloca los papeles de filtro conteniendo el residuo en la estufa y se deja desecar una noche hasta 70 °C.

Una vez seco el conjunto se introduce en el cartucho de extracción. Sobre el matraz de destilación se coloca el cuerpo del soxhlet y se le añade éter etílico hasta que éste sifone (se echa un poco más de éter en previsión de lo que se pueda evaporar). Por último se coloca el cartucho dentro del cuerpo del soxhlet, se introduce el matraz dentro de baño de agua y se monta el sistema refrigerante (Figura 7). Una vez colocados los sistemas de extracción en línea se abre el grifo de agua para que ésta circule y refrigere el conjunto y se enciende el baño de agua programado para una temperatura de 80 °C.



Figura 7: Sistema para la extracción de la grasa total

De deja que se lleve a cabo la extracción durante 7 horas, vigilando en todo momento que el sistema sifone, es decir, que no se quede sin éter.

Transcurrido el tiempo de extracción, hay que eliminar el éter del matraz. Cuando el cuerpo del soxhlet esté medio lleno sacar el baño el matraz cn el cuerpo. Una vez fuera, se quita el cartucho y se vacia el éter del cuerpo. Ahora, nuevamente se coloca el matraz y el cuerpo en el baño para que todo el éter se quede en el cuerpo y el matraz solamente contenga la grasa extraída.

Se desmonta el sistema y se introducen los matraces en la estufa para eliminar los restos de agua que queda. Los matraces se dejan toda la noche secando y al sacarlos de la estufa deben enfriarse hasta adquirir la temperatura ambiente para ser pesados (M_2).

El % de grasa se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\% \text{ grasa} = \frac{(M_2 - M_0) \times 100}{M_1}$$

M_0 = Peso del matraz

M_1 = Peso de la muestra

M_2 = Peso del matraz junto con el extracto de grasa

2.3 COLÁGENO

El contenido de colágeno se determinó a partir del contenido de hidroxiprolina de acuerdo con el método de Bergman y Loxley (1963) modificado por Bonnet y Kopp (1986), y se expresa como mg. de hidroxiprolina por gr. de muestra.

Determinación del colágeno soluble

Para cuantificar la solubilidad del colágeno es necesario primeramente extraer el colágeno soluble de las muestras de carne y posteriormente someter a una digestión los extractos tras la cual se determina la cantidad de colágeno soluble a través de un ensayo de hidroxiprolina.

1º - Extracción del colágeno soluble

La muestra es descongelada y triturada. Se pesan entre 4 y 5 gramos de muestra en un tubo de centrífuga de 50 ml. anotando el peso exacto. Se le añade a la muestra 7,5 ml de Solución Ringer 1:4 y se homogeneiza con el Ultra-Turrax durante 2 minutos. El vástago del Ultra-Turrax se lava con 7,5 ml de solución Ringer 1:4 en otro tubo, y se transvasa, después de lavado, al primer tubo donde se encuentra la muestra. El tubo que contiene la muestra se tapa y se colocan en un baño a 77 °C durante 70 minutos, tras los cuales se enfría bajo el chorro de agua fría. Posteriormente la muestra se centrifuga a 4500 r.p.m. durante 10 minutos y se separa y recoge el sobrenadante en un vaso de precipitados (donde se encuentra disuelto el colágeno soluble).

Al residuo sólido que ha quedado en el tubo se le añade 10 ml. de solución Ringer 1:4 y tras agitarlo en el vortex para que se mezcle bien, se repite la operación de centrifugado a 4500 r.p.m durante 10 minutos. El sobrenadante obtenido se recoge junto con el anterior y reserva para su posterior digestión.

2º - Digestión del extracto

A cada vaso de precipitados, donde se encuentra el sobrenadante obtenido de la extracción del colágeno soluble, se le añade 50 ml. de ácido clorhídrico al 50%. Los vasos se colocan en una placa calefactora junto a un sistema de refrigerantes (Figura 8). Todo el equipo debe ser montado dentro de la campana extractora. Las muestras se ponen a calentar hasta la ebullición durante 7 horas. Trascorrido este tiempo se retira el sistema de refrigerantes y evapora la solución hasta que quede aproximadamente unos 50 ml.

Entonces las muestras se retiran de la placa calefactora y se dejan enfriar. A continuación se ajusta el pH a 6-7 con NaOH concentrada. Se sabe cuando se alcanza el pH deseado debido a que la solución cambia de color. Cuando el pH ha sido ajustado la solución se transfiere a un matraz aforado de 50 ml. donde se enrasa con H₂O destilada. Finalmente la solución es filtrada y se conserva en refrigeración hasta la determinación espectrofotométrica de la concentración de colágeno.



Figura 8: montaje para la digestión de los extractos

3º Ensayo de hidroxiprolina

El mismo día en el que se realiza el análisis se preparan todos los reactivos que se van a utilizar (Anexo 1). Los patrones de hidroxiprolina para realizar la recta de calibrado y 1 ml. de cada muestra se colocan en tubos de ensayo con tapón de rosca. Después se añade a cada tubo 500 μ l del reactivo Cloramina T, se agitan y se deben incubar durante 20 minutos a temperatura ambiente. A continuación, se añade a cada tubo 500 μ l del reactivo Ehrlich's/pDMAB, se agitan nuevamente y se incuban a baño maría durante 15 minutos a 65 °C (Figura 9). En este proceso las muestras adquieren tonos rojizos. Al terminar la incubación las muestras son enfriadas bajo el chorro de agua fría y tras agitarlas se leen las absorbancias a 550 nm. El espectrofotómetro utilizado en este trabajo es un UV-Vis Scanning Spectrophotometer modelo UV – 2101 PC controlado por el software UVPC Personal Spectroscopy, versión 3.5. La concentración de colágeno presente en las muestras se calcula por extrapolación de los valores de absorbancia a la recta de calibrado.

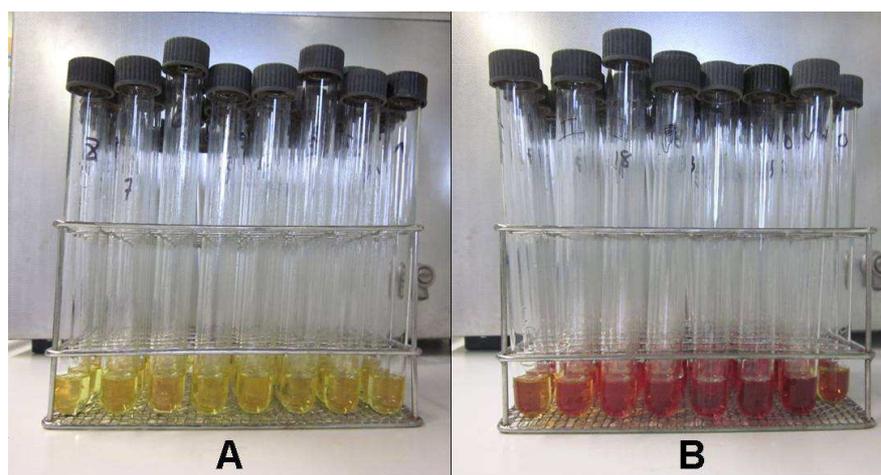


Imagen 9: Detalle de las muestras antes de la incubación a 65 °C (A) y tras 15 minutos de incubación (B)

Determinación del colágeno total

Para la cuantificación de la cantidad de colágeno total se realiza la digestión de la muestra y posterior ensayo de hidroxiprolina de la misma forma que para la determinación del colágeno soluble. Las únicas diferencias entre los dos procedimientos son la cantidad de muestra a analizar y el volumen del matraz aforado al que se transfiere la solución tras la digestión. En el caso de la determinación del colágeno total, al tratarse de una concentración de producto que no es posible medir por el espectrofotómetro con exactitud, la cantidad de muestra que se pone a digerir es 1 gr. aproximadamente. Del mismo modo que en la determinación del colágeno soluble se anota el peso exacto de la muestra. Tras la digestión se ajusta el pH a 6-7 y se transfiere la solución a un matraz aforado de 100 ml. donde se enrasa con H₂O destilada. Finalmente, la solución es filtrada y la concentración de colágeno total se determina espectrofotométricamente del mismo modo que en la determinación del colágeno soluble.

Los resultados se expresan como mg/g (mg de colágeno por gramo de muestra) para lo que se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\text{mg / g} = \frac{\text{Concentración } (\mu\text{g / ml})}{\text{Peso muestra (g)}} \times \frac{7,52}{10}$$

7,52 es el factor de conversión de hidroxiprolina a colágeno (Shiba et al., 2004) teniendo en cuenta que la hidroxiprolina representa aproximadamente un 13,5% del peso del colágeno.

2.4 COMPOSICIÓN EN ACIDOS GRASOS

La grasa intramuscular de la carne fue extraída mediante el proceso de Bligh and Dyer (1959). Los lípidos extraídos fueron separados en fracciones neutra y fosfolipídica según el método de Noci y col., (2005) y finalmente las fracciones fueron metiladas siguiendo el proceso descrito por Morrison and Smith (1964). El análisis de los ácidos grasos y los patrones fue llevado a cabo por un cromatógrafo de gases con el helio como gas portador.

Extracción de grasa con disolvente

Las muestras que se van a analizar se descongelan durante 24 horas en una cámara frigorífica a una temperatura de 5 °C. Una vez descongeladas, se eliminan las partes grasas y la muestra es triturada. Se anota el peso de la muestra (X gr) y se pasa a un erlenmeyer junto con X ml. de cloroformo, 2X ml. de metanol y una punta de espátula de BHT (Butil hidroxitolueno) para evitar la oxidación de los ácidos grasos y todo ello se homogeneiza. Es necesario que la homogeneización se produzca en hielo para controlar el aumento de la temperatura. La muestra tras ser batida se reparte en tubos de centrifuga y se centrifuga a 4000 r.p.m. durante 20 minutos. Tras la centrifugación, se filtra y recoge la parte líquida que se conserva en refrigeración.

La parte sólida se mezcla con X ml. de cloroformo y se homogeneiza nuevamente manteniendo la muestra en hielo. Después se centrifuga la muestra nuevamente a 4000 r.p.m. durante 20 minutos y se vuelve a filtrar la parte sólida juntándola con la obtenida tras la primera filtración (Figura 10).

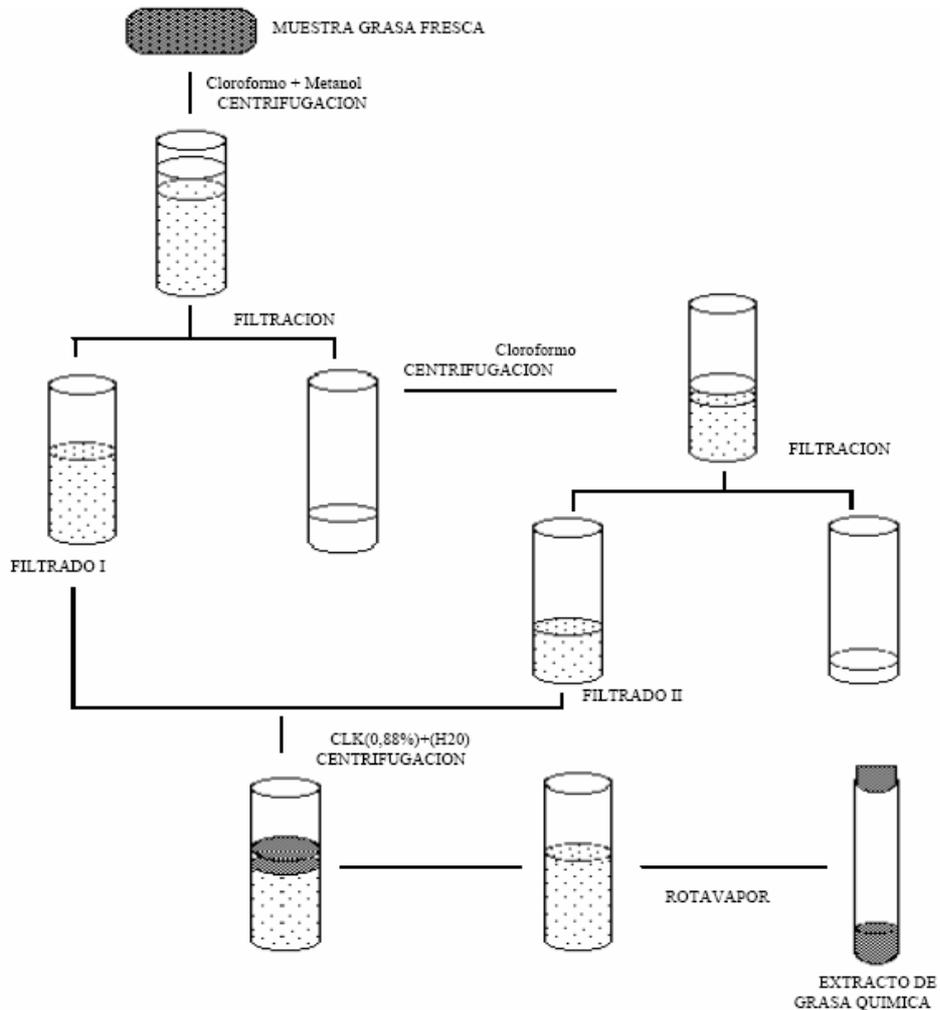


Figura 10: Protocolo de extracción cualitativa de grasa (Bligh y Dyer, 1959)

Al filtrado total obtenido de ambas filtraciones se le añaden X ml. de KCl al 80% y se centrifuga durante 20 minutos a 4000 r.p.m. Posteriormente se recoge la parte inferior que es transferida a un erlenmeyer y se coloca en el rotavapor con una temperatura del baño de 37 °C para evaporar todo el disolvente de la muestra (Figura 11).

Una vez evaporado el disolvente se recoge la parte sólida que ha quedado en el matraz y se conserva a -80 °C hasta la separación de las fracciones.



Figura 11: Evaporación del disolvente de la muestra en el rotavapor

Separación de lípidos neutros (NL) y fosfolípidos (PL)

La grasa obtenida de la extracción y conservada a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ se descongela y se pone bajo la corriente de N_2 hasta obtener un peso constante. Mientras tanto se pesan en la báscula analítica los tubos de ensayo que se van a utilizar. Se pesa entre 50 y 100 mg. de muestra en los tubos de ensayo y se anota el peso exacto. La grasa extraída se diluye en 1 ml. de cloroformo y se agita durante un minuto.

Para la separación lipídica se utilizan cartuchos de extracción en fase sólida con 500 mg de embalaje aminopropilsilica (Bond Elut – NH_2 , 500 mg, 3 ml de depósito; Varian Instruments). Los cartuchos son acondicionados con 3 ml. de cloroformo que son desechados. La muestra ya agitada se vierte en el cartucho y se echan 4 mililitros más para arrastrar la totalidad de lípidos neutros (Figura 12). Una vez que hemos obtenido la fracción NL añadimos en el tubo de ensayo $\mu\text{l.}$ de patrón interno (C23: 0) y el tubo se seca bajo una corriente de N_2 hasta obtener un peso constante.



Figura 12: Separación de las fracciones lipídicas a través de cartuchos de extracción

Tras la separación de los lípidos neutros, se lavan los cartuchos con 1 ml. de cloroformo y 1 ml. de metanol que son desechados. A continuación se echan en el cartucho 5 ml. de metanol que servirán para arrastrar los fosfolípidos de la muestra. Del mismo modo que en la fracción de lípidos neutros, se añaden 100 μ l. patrón interno en las muestras de fosfolípidos y se secan bajo la corriente de N_2 hasta obtener un peso constante.

Como paso previo a la metilación se diluye cada fracción en 200 μ l de tolueno (el cual mejora la disolución de la grasa), y posteriormente se añaden 800 μ l de la mezcla metanol:tolueno y se agita durante 5 minutos.

Procedimiento de metilación

Para la metilación cada fracción se utiliza un reactivo y tiempo de ebullición diferente. En el caso de la fracción fosfolipídica se añade 1 ml. de trifloruro de boro al 14% en metanol y se mantiene en ebullición durante 10 minutos. En la fracción de lípidos neutro se añade 1 ml. de la mezcla de benceno: trifloruro de boro: metanol y se mantiene en ebullición durante 30 minutos. Después se dejaron enfriar y se añadieron 480 μ l. de hexano + BHT y 250 μ l. de agua destilada. Los tubos de ensayo se agitaron durante un minuto y la fase superior se transfirieron a virales donde la muestra se evaporó bajo la corriente de N_2 hasta 100 μ l. Los virales se guardaron en congelación a -80 °C hasta el análisis de los ácidos grasos por cromatografía de gases.

Análisis de los ácidos grasos

El análisis de los ácidos grasos se lleva a cabo a través de un cromatógrafo de gases de ionización (Agilent Technologies 7890A GC System) conectado a un inyector (Agilent Technologies 7683B Series). La separación de los ácidos grasos ocurre en una columna capilar de 60m x 0.25 mm I.D., 0.25 μm) (HP 19091N-136, glicol de polietileno reticulado, Hewlett-Packard). La rampa de temperatura diseñada para la separación de los ésteres metilados de los ácidos grasos fue:

| Rango de Temperaturas (°C) | Velocidad de aumento de temperatura (°C/minuto) |
|----------------------------|---|
| 50-158 | 3 |
| 158-165 | 1 |
| 165-190 | 2 |
| 190-198 | 1 |
| 198-205 | 0,25 |
| 205-210 | 0,5 |
| 210-222 | 1 |
| 222-240 | 2 |

La temperatura del detector, 240 ° C; la temperatura del inyector 255 ° C; el gas portador fue el helio a un modo de inyección ml min⁻¹ y sin división.

La identificación de los ácidos grasos se lleva a cabo mediante la comparación del tiempo de retención relativo de los picos de las muestras con las de patrones conocidos. Los resultados de la cantidad de ácidos grasos se expresan como porcentaje de área de la superficie total detectada (mg. ácido graso / 100 mg. ácidos grasos totales).

3. MEDIDAS DE TEXTURA INSTRUMENTAL

3.1 COMPRESIÓN

Para la prueba de compresión se utilizó el método descrito por Lepetit y Salé (1985). Las muestras fueron descongeladas durante 24 horas en una cámara frigorífica a una temperatura de 4 °C. Tras ese tiempo se cortaron paralelepípedos de 1cm de sección con el eje longitudinal paralelo a las fibras.

La medida instrumental se realizó utilizando el método de compresión uniaxial a velocidad constante. Para ello se empleó un texturómetro modelo TA-XT2i de Stable Micro Systems con su consola de mandos conectado a un ordenador IBM-compatible de Foxen, con microprocesador AutenticAMD-K6(tm) 3Dprocessor (Figura 13). Para el control del aparato y el procesado de los datos se ha utilizado el programa informático “Textura Expert” versión 1.22 para Windows (Stable Micro Systems, Surrey, UK).

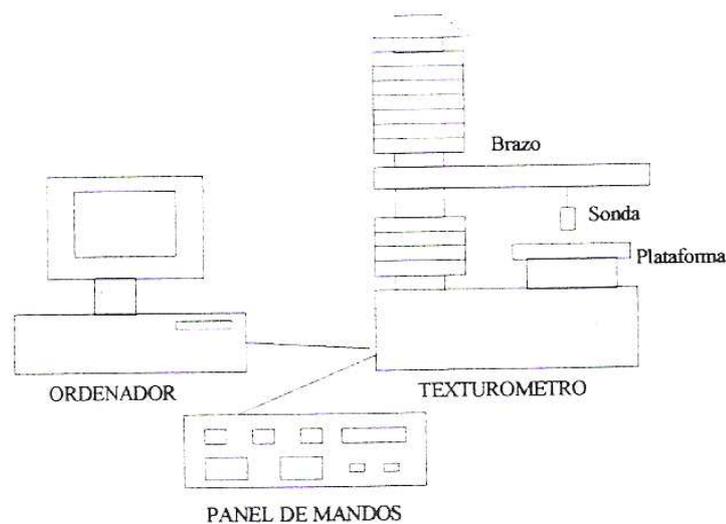


Figura 13: Esquema del equipo

El texturómetro tiene una célula de carga de 5 Kg y la pieza de compresión utilizada ha sido la denominada “LePetit” siendo este el nombre de su inventor y creador. La sonda se enrosca a un brazo que tiene movimiento ascendente y descendente que puede ser controlado desde el panel de mandos. Al bajar, la sonda comprime la muestra como puede verse en la Figura 14. El análisis instrumental se realizó en carne fresca y al menos se hicieron 8 repeticiones para cada muestra.

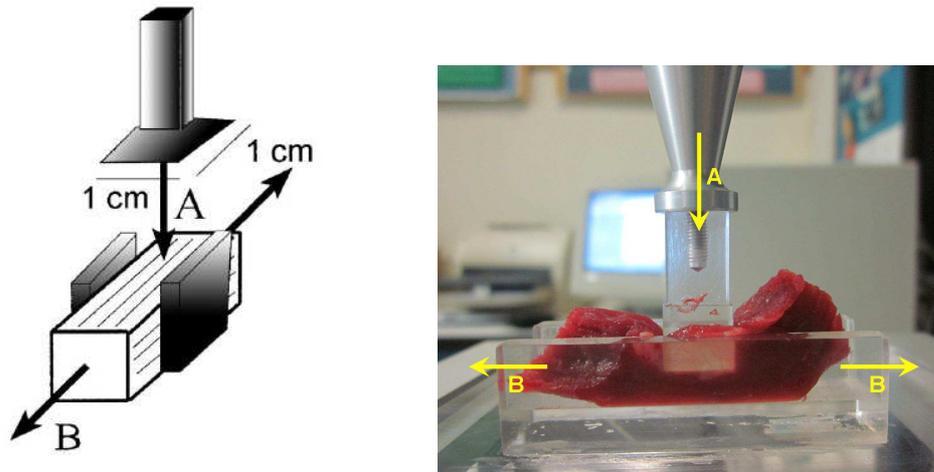


Figura 14. Dirección de la fuerza aplicada (A) y deformación de la muestra (B) en la prueba de compresión

Las variables estudiadas con la célula de compresión fueron las siguientes (Figura 15):

- *Fuerza al 20% de compresión, g/mm^2 (2)*: Fuerza realizada por unidad de superficie de contacto de la muestra (en el presente estudio se trata de 1 cm^2) cuando la compresión realizada es el 20% de compresión.
- *Fuerza al 40% de compresión, g/mm^2 (3)*: Fuerza realizada por unidad de superficie de contacto de la muestra cuando la compresión realizada es el 40% de compresión.
- *Fuerza al 60% de compresión, g/mm^2 (4)*: Fuerza realizada por unidad de superficie de contacto de la muestra cuando la compresión realizada es el 60% de compresión.
- *Fuerza al 80% de compresión, g/mm^2 (5)*: Fuerza realizada por unidad de superficie de contacto de la muestra cuando la compresión realizada es el 80% de compresión.
- *Fuerza al 100% de la compresión, g/mm^2 (6)*: Máxima carga realizada por unidad de superficie de contacto de la muestra.
- *Área al 20% ($g \times mm$) (1-2)* es el área bajo la curva entre el punto inicial y el 20% de la distancia total y se corresponde con el trabajo realizado en ese recorrido.
- *Área al 20% - 40% ($g \times mm$) (2-3)* es el área bajo la curva entre el 20% y 40% de la distancia total y se corresponde con el trabajo realizado en ese recorrido.
- *Área al 40% - 60% ($g \times mm$) (3-4)* es el área bajo la curva entre el 40% y 60% de la distancia total y se corresponde con el trabajo realizado en ese recorrido.

- *Área al 60% - 80% (g x mm) (4-5)* es el área bajo la curva entre el 60% y 80% de la distancia total y se corresponde con el trabajo realizado en ese recorrido.
- *Área al 80% - 100% (g x mm) (5-6)* es el área bajo la curva entre el 80% y 100% de la distancia total y se corresponde con el trabajo realizado en ese recorrido.
- *Área Total (g x mm) (1-6)* es el área bajo toda la curva entre y se corresponde con el trabajo total realizado.
- *Fuerza max (g x mm²):* punto de inflexión en la gráfica donde se considera que se produce la fragmentación de las fibras de colágeno.

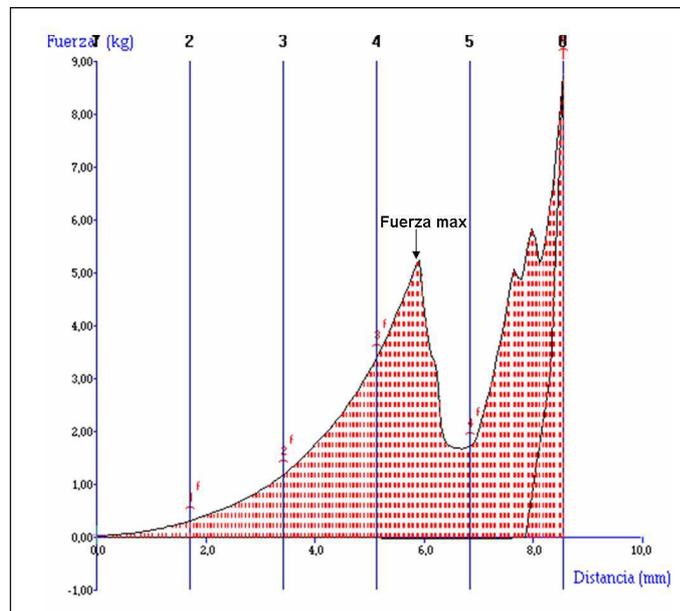


Figura 15. Representación gráfica de la fuerza aplicada (gr) por unidad de desplazamiento (mm) en el ensayo realizado con célula de compresión.

4. ANALISIS ESTADÍSTICO

Para estudiar la influencia de los distintos efectos considerados sobre la calidad de la carne de toro de lidia, se analizaron los resultados según el siguiente modelo:

En el caso de aquellas variables donde no se analizó el efecto de la maduración de la carne se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_j + G_j(A_k) + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} representa la observación del carácter analizado.

μ representa la media de la población.

G_j representa la influencia de la ganadería donde $i = 1$, Ganadería A; $i = 2$, Ganadería B.

$G_j(A_k)$ representa la influencia del animal jerarquizado a la ganadería.

ε_{ijk} representa el error asociado a cada observación

Este modelo se utilizó en el estudio de las siguientes variables: pH a las 24 horas *post-mortem*, porcentaje de humedad, porcentaje de grasa intramuscular y perfil de ácidos grasos.

En el caso de aquellas variables donde sí se analizó el efecto de la maduración de la carne se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + G_j + M_i * G_j + M_i + G_j(A_k) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} representa la observación del carácter analizado.

μ representa la media de la población.

M_i representa la influencia del tiempo de maduración de la carne donde $i = 1$: 24 horas de maduración; $i = 2$: 14 de maduración.

G_j representa la influencia de la ganadería donde $i = 1$, Ganadería A; $i = 2$, Ganadería B.

$G_j(A_k)$ representa la influencia del animal jerarquizado a la ganadería.

ε_{ijk} representa el error asociado a cada observación

Este modelo se utilizó en el estudio de las siguientes variables: contenido de colágeno total y soluble y parámetros seleccionados para el método de compresión uniaxial.

Se han calculado los coeficientes de correlación de Pearson para estudiar la relación existente entre las variables obtenidas en el test de compresión uniaxial y el pH y la composición química de la carne. También se han calculado los coeficientes de correlación de Pearson para estudiar la relación existente entre el contenido de cada uno de los ácidos grasos analizados en la fracciones neutra y polar de la grasa intramuscular y el porcentaje de grasa intramuscular en la carne de toro de lidia.

Además, cada una de las variables de textura obtenidas del ensayo de compresión uniaxial se han dividido en dos grupos en función de su grado de ablandamiento con la maduración: grupo de ablandamiento alto y grupo de ablandamiento bajo. Esto se ha calculado restando al valor de la variable de textura a las 24 h el valor de la variable de textura a los 14 días post mortem. A los grupos así creados se les ha aplicado un Análisis de la Varianza donde la variable independiente es el grupo de ablandamiento (Alto o Bajo) y la variable dependiente el valor de la fuerza o el área debajo de la curva en la carne madurada 24h para de cada variable estudiada (es decir el valor de la fuerza o el esfuerzo (área) al inicio de la maduración). Este mismo análisis se repitió pero siendo la fuerza o área bajo la curva en la carne madurada 14 días post mortem la variable dependiente (es decir el valor de la fuerza o el esfuerzo (área) al final de la maduración).

CAPITULO V:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. HUMEDAD, GRASA, COLÁGENO Y pH

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos del análisis realizado para estudiar la composición química de la carne. Como puede comprobarse, el factor que tuvo mayor efecto sobre los resultados obtenidos fue el Animal ($p \leq 0,001$). De los otros factores, únicamente la maduración de la carne tuvo un efecto significativo ($p \leq 0,001$) sobre el contenido en colágeno soluble en la carne, disminuyendo el porcentaje en colágeno soluble con el aumento de los días de maduración (Tablas 2 y 4).

Tabla 1: Niveles de significación estadísticos de los efectos Ganadería y Animal jerarquizado a Ganadería para las variables porcentaje de grasa intramuscular y humedad de la carne de toro de lidia.

| | Ganadería | Ganadería (animal) |
|-------------|-----------|--------------------|
| pH | ns | ns |
| Grasa (%) | ns | *** |
| Humedad (%) | ns | *** |

ns: no significativo; ***= $p \leq 0,001$

Tabla 2: Niveles de significación estadísticos de los efectos tiempo de Maduración de la carne, Ganadería y Animal jerarquizado a Ganadería, para las variables contenido en colágeno total y porcentaje de colágeno soluble en la carne de toro de lidia.

| | Maduración | Ganadería | Maduración*Ganadería | Ganadería(animal) |
|-----------------------|------------|-----------|----------------------|-------------------|
| Colágeno total (mg/g) | ns | ns | ns | *** |
| Colágeno soluble (%) | *** | ns | ns | *** |

ns: no significativo; ***= $p \leq 0,001$

Tabla 3: Medias mínimo cuadráticas y errores típicos (SE), según la Ganadería¹, de las variables porcentaje de grasa intramuscular y de humedad de la carne de toro de lidia.

| | Ganadería A | Ganadería B | SE |
|-------------|-------------|-------------|-------|
| | media | media | |
| pH | 5,917 | 6,224 | 0,162 |
| Grasa (%) | 3,286 | 3,911 | 0,063 |
| Humedad (%) | 72,737 | 72,331 | 0,181 |

1: Ganadería A; Ganadería B

Tabla 4: Medias mínimo cuadráticas y errores típicos (SE), según la el tiempo de Maduración de la carne y de la Ganadería¹, de las variables contenido total de colágeno y porcentaje de colágeno soluble en la carne de toro de lidia.

| | Ganadería A | | Ganadería B | | SE |
|-----------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|-------|
| | Maduración 24 h | Maduración 14d | Maduración n 24 h | Maduración 14d | |
| | media | media | media | media | |
| Colágeno total (mg/g) | 6,025 | 6,942 | 6,403 | 6,425 | 0,501 |
| Colágeno soluble (%) | 5,178a | 4,108b | 4,730a | 2,605b | 0,315 |

1: Ganadería A; Ganadería B

Como puede comprobarse en la Tabla 4, en las muestras que fueron maduras durante 14 días la cantidad de colágeno soluble es menor que en las muestras que no sufrieron maduración. Sin embargo, el tiempo de maduración no influye en la cantidad de colágeno total de la carne. En lo que respecta a la evolución del colágeno con la maduración, la bibliografía es controvertida. Autores como Roncalés (2001) señalan que la maduración no tiene efecto sobre el tejido conectivo mientras que otros como Soria y Corva, (2004) y Lepetit (2007) apuntan a que el colágeno también se degrada tras un tiempo de maduración haciéndolo más soluble. En nuestro estudio encontramos que la solubilidad del colágeno disminuye al someter la carne a un proceso de maduración. Este efecto es distinto al encontrado en la bibliografía revisada.

Respecto a la cantidad de colágeno soluble (Tabla 4), el porcentaje obtenido en nuestro estudio es mucho menor que el obtenido en otros estudios (5% vs. 25-35%) (Serra y col., 2008; Christensen y col., 2011). Aunque en estos trabajos se analizan animales más jóvenes que en el trabajo actual, la cantidad de colágeno varía poco con la edad de los animales. Sin embargo, el grado de reticulación aumenta con la edad por lo que disminuye su solubilidad (Lepetit, 2007; Okumura y col., 2012). Por tanto, los resultados obtenidos en nuestro estudio, donde se observa una baja solubilidad del colágeno, son esperables debido a la avanzada edad de los toros empleados.

En cuanto al contenido en grasa, los animales presentan una carne magra con un bajo porcentaje de grasa intramuscular. Los animales estudiados son machos enteros de 4-5 años de edad y criados en un sistema extensivo donde ejercitan su musculatura gracias al constante ejercicio físico. El contenido en grasa de estos animales es similar al de añejos sacrificados a los 15 meses, los cuales debido a su corta edad poseen un bajo grado de veteado (Christensen y col., 2011). Analizando los resultados obtenidos por Christensen y col. (2011) se puede observar que el contenido de grasa intramuscular del toro de lidia analizado en el presente estudio es más cercano al de razas del norte de Europa (Aberdeen Angus 3,96%, Jersey 3,78% y Highland 3,64%) que al de razas del sur de Europa (Pirenaica 2,14 %, Limousin 1,6% y Piemontese 1,09%).

Si comparamos los toros de lidia con razas autóctonas del suroeste español cuyo sistema de cría es similar al del ganado bravo, observamos que los toros estudiados en nuestro trabajo presentan un nivel de engrasamiento similar en comparación con animales de razas Morucha, Retinta y Avileña – Negra Ibérica como lo demuestran Campo y col

(1999) y Serra y col., (2008), aunque en estos trabajos se estudiaron animales de un año de edad.

Englobando lo anterior se puede concluir que nos encontramos con unos animales que producen carne con relativamente bajo engrasamiento y con un bajo contenido en colágeno soluble, el cual además disminuye con la maduración.

Con respecto al pH final, los altos valores obtenidos en la carne de toro de lidia pueden estar debidos tanto al estrés sufrido durante el sacrificio como al carácter oxidativo y alto porcentaje de fibras musculares lentas (características de machos no castrados de avanzada edad y alimentados a base de pasto) (Picard y col., 2009).

2. COMPRESIÓN

En las Tablas 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos del análisis de compresión de la carne. Como puede comprobarse en la Tabla 5, el factor que de nuevo tuvo un mayor efecto sobre los resultados fue el Animal ($p \leq 0,001$). De los otros caracteres, el tiempo de la maduración de la carne de nuevo tuvo una mayor influencia que la Ganadería. Un aumento del tiempo de maduración significó una disminución del valor de la fuerza de compresión cuando se ha comprimido la muestra de carne hasta un 80% de su altura (*Fuerza 80%*) ($p \leq 0,001$) y del valor de la fuerza de compresión máxima soportada por las muestras de carne (*Fuerza max*) ($p \leq 0,001$). Por el contrario, un aumento del tiempo de maduración significó un aumento del esfuerzo necesario para comprimir la muestra de carne hasta un 20% de su altura (área debajo de la curva de compresión entre los puntos compresión 0% y compresión de un 20% de la altura de la muestra; *Area 0-20%*) ($p \leq 0,05$).

Las interacciones encontradas entre Maduración y Ganadería son el resultado de que en la carne madurada 14 días, el valor de la fuerza de compresión fue mayor en la Ganadería A que en la B cuando se comprimió la muestra de carne entre un 40% y un 60% de su altura (*Fuerza 40%* y *Fuerza 60%*) ($p \leq 0,05$). Además, en el caso de la Ganadería A, un aumento del tiempo de maduración significó un aumento del esfuerzo necesario para comprimir la carne (área debajo de la curva) entre un 20 y un 60% de la altura de las muestra (*Area 20-40%* y *Area 40-60%*) ($p \leq 0,05$), lo que no ocurrió en la Ganadería B. Esto implicó que el esfuerzo total (*Area 0% – 100%*) también aumentó con el tiempo de maduración en la Ganadería A.

Tabla 5: Niveles de significación estadísticos de los efectos Maduración, Ganadería y Animal jerarquizado a Ganadería, para las variables de textura¹ obtenidas en el análisis de compresión.

| | Maduración | Ganadería | Maduración*Ganadería | Ganadería(Animal) |
|---------------------|------------|-----------|----------------------|-------------------|
| Fuerza 20% | ns | ns | ns | *** |
| Area 0-20% | * | ns | ns | ** |
| Fuerza 40% | ns | ns | * | *** |
| Area 20-40% | * | ns | * | *** |
| Fuerza 60% | ns | ns | * | *** |
| Area 40-60% | ** | ns | *** | *** |
| Fuerza 80% | *** | ns | ns | *** |
| Area 60-80% | ns | ns | * | *** |
| Fuerza 100% | ns | ns | ns | *** |
| Area 80-100% | ns | ns | ns | *** |
| Area 0-100% | ns | ns | * | *** |
| Fuerza max | *** | ns | ns | *** |

1: Fuerza: Valor de la fuerza de compresión a un 20% (Fuerza 20%), 40% (Fuerza 40%), 60% (Fuerza 60%), 80% (Fuerza 80%) y 100% (Fuerza 100%) de la altura del producto, y valor de la fuerza de compresión máxima soportada por las fibras de colágeno (Fuerza max); Area: Esfuerzo necesario para comprimir las muestras de carne. Area debajo de la curva cuando se comprime la muestra entre un 0 y un 20% (Area 0-20%); un 20% y un 40% (Area 20-40%); un 40% y un 60% (Area 40-60%); un 60% y un 80% (Area 60-80%) y un 80% y el 100% (Area 80-100%) de la altura de la muestra, y Area total debajo de la curva de compresión (Area 0-100%).

ns: no significativo; ns⁺=p<0,1; *=p<0,05; **=p<0,01; ***=p<0,001

Tabla 6: Medias mínimo cuadráticas y errores típicos (SE)¹, según el tiempo de Maduración de la carne y de la Ganadería², las variables de textura³ obtenidas en el análisis de compresión de la carne de toro de lidia.

| | Ganadería A | | Ganadería B | | SE |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|
| | Maduración 24 h | Maduración 14d | Maduración 24 h | Maduración 14d | |
| | media | media | media | media | |
| Fuerza 20% (kg) | 0,507 | 0,572 | 0,529 | 0,538 | 0,050 |
| Area 0-20% (kg*mm) | 0,336a | 0,473b | 0,414a | 0,441b | 0,044 |
| Fuerza 40% (kg) | 1,541a | 1,726ab | 1,630ab | 1,424b | 0,108 |
| Area 20-40% (kg*mm) | 1,543a | 2,145ab | 1,897ab | 1,895b | 0,172 |
| Fuerza 60% (kg) | 2,873a | 2,995ab | 2,745ab | 2,395b | 0,138 |
| Area 40-60% (kg*mm) | 3,306a | 4,774ab | 3,990ab | 3,741b | 0,271 |
| Fuerza 80% (kg) | 4,362a | 3,652b | 3,473a | 2,984b | 0,152 |
| Area 60-80% (kg*mm) | 5,423a | 6,381ab | 5,383ab | 5,128b | 0,306 |
| Fuerza 100% (kg) | 6,519 | 6,404 | 6,392 | 6,772 | 0,340 |
| Area 80-100% (kg*mm) | 8,019 | 8,268 | 7,594 | 7,548 | 0,406 |
| Area 0-100% (kg*mm) | 18,629a | 22,042ab | 19,279ab | 18,757b | 1,037 |
| Fuerza max (kg) | 5,941a | 4,856b | 4,632a | 3,498b | 0,191 |

1: ab: letras iguales o ausencia de letras → diferencias no significativas entre las muestras pertenecientes a los grupos Ganadería-Maduración (p>0,05); letras distintas → diferencias significativas (p<0,05)

2: Ganadería A; Ganadería B

3: Para una descripción de las variables de textura consultar la Tabla 5

3. CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES INSTRUMENTALES

En las tablas 7 y 8 se muestran los valores de los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las distintas variables de textura y de composición química obtenidas en la carne madurada 24 horas (Tabla 7) y 14 días (Tabla 8). Como puede observarse, a las 24 horas de maduración el contenido en colágeno total presenta una relación negativa con el esfuerzo necesario para comprimir la muestra entre un 0% y 20% de su altura ($p < 0,1$). Por otro lado, el contenido en colágeno soluble manifiesta una relación positiva con el esfuerzo necesario para comprimir la muestra entre un 80% y 100% de su altura ($p \leq 0,05$). Además, en la carne madurada 14 días existe una correlación negativa entre el contenido en colágeno total y el porcentaje de colágeno soluble ($p \leq 0,01$). Dicha correlación no aparece en las muestras maduradas 24 horas.

En la carne madurada 14 días (Tabla 8) también aparece una correlación positiva entre la fuerza y esfuerzo al 20%, 40% y 60% de compresión y la fuerza de compresión máxima soportada por las muestras de carne. Sin embargo, en la carne madurada 24 horas (Tabla 7), las correlaciones para las fuerzas y esfuerzos a bajo porcentaje de compresión (20% y 40%) son negativas, mientras que las correlaciones positivas no aparecen hasta alcanzar el 80% de compresión de la muestras.

El contenido en grasa está relacionado positivamente con la cantidad de colágeno total ($p \leq 0,05$) y negativamente con la humedad ($p \leq 0,001$). Por último, se puede observar como la fuerza y esfuerzo hasta el 20% de compresión y el contenido en grasa muestran una tendencia hacia una correlación negativa ($p < 0,1$) (Tabla 7).

4. RELACIÓN DEL ABLANDAMIENTO DE LA CARNE CON LA MADURACIÓN Y LAS VARIABLES MEDIDAS DE FORMA INSTRUMENTAL

Se ha intentado estudiar la relación entre la evolución del ablandamiento de la carne con la maduración y las variables instrumentales relacionadas con la composición y el pH de la carne a las 24 horas post sacrificio. El ablandamiento de la carne con la maduración se ha calculado como la diferencia entre las variables obtenidas en el ensayo de compresión uniaxial (fuerzas y áreas bajo la curva) a las 24 horas y a los 14 días de

maduración. Si el valor de esta diferencia es positivo, existe un ablandamiento de la carne entre las 24 horas y los 14 días post mortem. Los coeficientes de correlación de Pearson (r) encontrados se muestran en la Tabla 9.

Con respecto a las correlaciones entre el ablandamiento de la carne ($F_{24} - F_{14}$ y $Area_{24} - Area_{14}$) y el resto de variables estudiadas se observa que un menor contenido en colágeno total esta relacionado con un mayor ablandamiento ($F_{24} > F_{14}$ y $Area_{24} > Area_{14}$) en aquellas variables que se obtienen con compresiones menores a un 60% de la altura de la muestra de carne (correlación significativa ($p < 0,05$) o con tendencia a ser significativa ($p < 0,1$)). Esto explicaría que en el área total debajo de la curva ($Area_{24} - Area_{14}$ 0-100%) la diferencia entre las 24 horas y 14 días de maduración también está negativamente correlacionada con el contenido en colágeno. También se encuentra una tendencia ($p < 0,1$) a que la fuerza al 80% de compresión y la fuerza máxima disminuyan con la maduración cuanto menor sea el valor del pH de la carne a las 24 horas post mortem.

Tabla 7: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables de textura¹ y de composición química² en la carne madurada durante 24 horas

| | Colágeno total (mg/g) | Colágeno soluble (%) | Grasa (%) | Humedad (%) | Fuerza max (kg) |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------------|
| Colágeno total (mg/g) | --- | -0,182 | 0,644* | -0,436 | 0,462 |
| Colágeno soluble (%) | -0,182 | --- | -0,059 | -0,172 | 0,452 |
| Grasa (%) | 0,644* | -0,059 | --- | -0,820*** | 0,400 |
| Humedad (%) | -0,436 | -0,172 | -0,820*** | --- | -0,179 |
| Fuerza 20% (kg) | -0,431 | -0,309 | -0,550 ⁺ | 0,307 | -0,541 ⁺ |
| Area 0-20% (kg*mm) | -0,529 ⁺ | -0,319 | -0,528 ⁺ | 0,271 | -0,704** |
| Fuerza 40% (kg) | -0,140 | -0,013 | -0,253 | 0,007 | -0,056 |
| Area 20-40% (kg*mm) | -0,454 | -0,215 | -0,481 | 0,161 | -0,566* |
| Fuerza 60% (kg) | 0,333 | 0,243 | 0,240 | -0,236 | 0,656* |
| Area 40-60% (kg*mm) | -0,203 | 0,015 | -0,179 | -0,078 | -0,116 |
| Fuerza 80% (kg) | 0,365 | 0,478 | 0,305 | -0,188 | 0,942*** |
| Area 60-80% (kg*mm) | 0,199 | 0,384 | 0,252 | -0,267 | 0,697** |
| Fuerza 100% (kg) | -0,080 | 0,373 | 0,191 | -0,355 | 0,407 |
| Area 80-100% (kg*mm) | 0,011 | 0,576* | 0,153 | -0,208 | 0,738*** |
| Area 0-100% (kg*mm) | -0,094 | 0,362 | -0,005 | -0,176 | 0,431 |

1: Para una descripción de las variables de textura consultar la Tabla E

2: Variables de composición química y pH de la carne madurada 24 horas post sacrificio

⁺ = $p < 0,1$: → La correlación tiene tendencia a ser significativa a nivel 0,05; * = $p \leq 0,05$: → La correlación es significativa a nivel 0,05 (bilateral); ** = $p \leq 0,01$: → La correlación es significativa a nivel 0,01 (bilateral); *** = $p \leq 0,001$: → La correlación es significativa a nivel 0,001 (bilateral)

Tabla 8: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables de textura¹ y de composición química² en la carne madurada durante 14 días

| | Colágeno total (mg/g) | Colágeno soluble (%) | Fuerza max (kg) |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Colágeno total (mg/g) | --- | -0,701** | 0,187 |
| Colágeno soluble (%) | -0,701** | --- | -0,094 |
| Grasa (%) | -0,375 | 0,149 | 0,408 |
| Humedad (%) | -0,426 | 0,268 | 0,407 |
| Fuerza 20% (kg) | -0,151 | 0,015 | 0,681** |
| Area 0-20% (kg*mm) | -0,314 | 0,103 | 0,509 ⁺ |
| Fuerza 40% (kg) | 0,133 | -0,118 | 0,956*** |
| Area 20-40% (kg*mm) | 0,002 | -0,029 | 0,886*** |
| Fuerza 60% (kg) | 0,289 | -0,198 | 0,974*** |
| Area 40-60% (kg*mm) | 0,137 | -0,065 | 0,972*** |
| Fuerza 80% (kg) | 0,363 | -0,305 | 0,334 |
| Area 60-80% (kg*mm) | 0,297 | -0,204 | 0,863*** |
| Fuerza 100% (kg) | 0,085 | -0,072 | 0,937*** |

1: Para una descripción de las variables de textura consultar la Tabla E

2: Variables de composición química y pH de la carne madurada 24 horas post sacrificio

⁺ = $p < 0,1$: → La correlación tiene tendencia a ser significativa a nivel 0,05; * = $p \leq 0,05$: → La correlación es significativa a nivel 0,05 (bilateral); ** = $p \leq 0,01$: → La correlación es significativa a nivel 0,01 (bilateral); *** = $p \leq 0,001$: → La correlación es significativa a nivel 0,001 (bilateral)

Tabla 9: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las diferencias en las variables de textura¹ a las 24 horas y 14 días y otras variables² de la carne como colágeno total, colágeno soluble, grasa, humedad y pH.

| | pH | Colágeno total (mg/g) | Colágeno soluble (%) | Grasa (%) | Humedad (%) |
|---|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| F ₂₄ – F ₁₄ 20% (kg) | 0,407 | -0,568* | -0,381 | -0,514 ⁺ | 0,324 |
| Area ₂₄ – Area ₁₄ 0-20% (kg*mm) | 0,461 | -0,541 ⁺ | -0,391 | -0,478 | 0,255 |
| F ₂₄ – F ₁₄ 40% (kg) | 0,311 | -0,574* | -0,312 | -0,448 | 0,260 |
| Area ₂₄ – Area ₁₄ 20-40% (kg*mm) | 0,428 | -0,603* | -0,314 | -0,495 | 0,276 |
| F ₂₄ – F ₁₄ 60% (kg) | 0,177 | -0,357 | -0,334 | -0,124 | -0,006 |
| Area ₂₄ – Area ₁₄ 40-60% (kg*mm) | 0,417 | -0,565* | -0,330 | -0,370 | 0,147 |
| F ₂₄ – F ₁₄ 80% (kg) | -0,553 ⁺ | -0,001 | 0,438 | 0,255 | -0,230 |
| Area ₂₄ – Area ₁₄ 60-80% (kg*mm) | 0,446 | -0,509 ⁺ | -0,277 | -0,218 | -0,008 |
| F ₂₄ – F ₁₄ 100% (kg) | -0,001 | -0,277 | 0,178 | -0,045 | -0,287 |
| Area ₂₄ – Area ₁₄ 80-100% (kg*mm) | 0,100 | -0,461 | 0,204 | -0,212 | -0,140 |
| F _{max24} – F _{max14} (kg) | -0,502 ⁺ | -0,394 | 0,166 | 0,403 | -0,059 |
| Area ₂₄ – Area ₁₄ 0-100% (kg*mm) | 0,392 | -0,612* | -0,196 | -0,370 | 0,071 |

1: Para una descripción de las variables de textura consultar la Tabla E

2: Variables de composición química y pH de la carne madurada 24 horas post sacrificio

⁺ = $p < 0,1$: La correlación tiene tendencia a ser significativa a nivel 0,05; * = $p \leq 0,05$: La correlación es significativa a nivel 0,05 (bilateral); ** = $p \leq 0,01$: La correlación es significativa a nivel 0,01 (bilateral); *** = $p \leq 0,001$: La correlación es significativa a nivel 0,001 (bilateral)

Además de los coeficientes de correlación estudiados en la Tabla 9, cada una de las variables de textura obtenidas del ensayo de compresión uniaxial (fuerzas y áreas bajo de la curva a distintas alturas de compresión de la muestra) se han dividido en dos grupos:

- Grupo de ablandamiento Alto, que incluye la mitad de las muestras con mayor grado de ablandamiento (mayores disminuciones de Fuerza y Área debajo de la curva entre las 24 horas y 14 días de maduración).
- Grupo de ablandamiento Bajo, que incluye las muestras con menor grado de ablandamiento o incluso muestras donde se produce un aumento de las variables de fuerza y esfuerzo (área bajo la curva) entre las 24 horas y 14 días de maduración.

A los grupos así creados se les ha aplicado un Análisis de la Varianza donde la variable independiente es el grupo de ablandamiento (Alto o Bajo) y la variable dependiente el valor de la fuerza o el área debajo de la curva en la carne madurada 24h para de cada variable estudiada (es decir el valor de la fuerza o el esfuerzo (área) al inicio de la maduración). Este mismo análisis se repitió pero siendo la fuerza o área bajo la curva en la carne madurada 14 días post mortem la variable dependiente (es decir el valor de la fuerza o el esfuerzo (área) al final de la maduración). Los resultados se muestran en las Tablas 10 y 11.

Aquellas muestras que experimentaron un mayor ablandamiento con la maduración (ablandamiento Alto) tuvieron una mayor resistencia inicial a la compresión (mayores valores de la fuerza o del área bajo la curva en la carne madurada 24 horas) hasta alcanzar un 80% de compresión de la muestra. A partir de este punto, no existieron diferencias entre los dos grupos de muestras. Igualmente, aquellas muestras que experimentan un mayor ablandamiento (ablandamiento Alto), presenta una menor resistencia a la compresión en la carne madurada 14 días.

Tabla 10: Niveles de significación estadísticos del efecto Grupo intensidad del ablandamiento¹ en cada una de las variables de textura² obtenidas del análisis de compresión uniaxial, para los valores de Fuerza y Área bajo la curva obtenidos a las 24 horas post sacrificio (Dureza Inicial) y los 14 días post sacrificio (Dureza Final)³

| | Variable de textura | Dureza inicial | Dureza final |
|-------------------------------|---|----------------|--------------|
| Efecto grupo de ablandamiento | $F_{24} - F_{14}$ 20% (kg) | * | + |
| | $Area_{24} - Area_{14}$ 0-20% (kg*mm) | *** | ns |
| | $F_{24} - F_{14}$ 40% (kg) | ns | ** |
| | $Area_{24} - Area_{14}$ 20-40% (kg*mm) | * | * |
| | $F_{24} - F_{14}$ 60% (kg) | ns | * |
| | $Area_{24} - Area_{14}$ 40-60% (kg*mm) | ns | ** |
| | $F_{24} - F_{14}$ 80% (kg) | * | ns |
| | $Area_{24} - Area_{14}$ 60-80% (kg*mm) | ns | *** |
| | $F_{24} - F_{14}$ 100% (kg) | + | * |
| | $Area_{24} - Area_{14}$ 80-100% (kg*mm) | ns | ns |
| | $F_{max24} - F_{max,14}$ (kg) | * | * |
| | $Area_{24} - Area_{14}$ 0-100% (kg*mm) | ns | ** |

1: Grupo de ablandamiento Alto: muestras de carne que, en cada una de las variables estudiadas, presentan la mayor caída de la fuerza o área bajo la curva entre las 24 horas post sacrificio y los 14 días post sacrificio; Grupo de ablandamiento Bajo: muestras de carne que, en cada una de las variables estudiadas, presentan la menor caída o incluso un aumento de la fuerza o área bajo la curva entre las 24 horas post sacrificio y los 14 días post sacrificio.

2: Para una descripción de las variables de textura consultar la Tabla 5

3: Dureza inicial: Valor de fuerza o área bajo la curva de las variables de textura obtenidas del análisis de compresión uniaxial a las 24 horas pos sacrificio. Dureza final: Valor de fuerza o área bajo la curva de las variables de textura obtenidas del análisis de compresión uniaxial a los 14 días pos sacrificio.

Tabla 11: Medias mínimo cuadráticas y errores típicos (SE), de la Dureza inicial y Dureza final¹ según el Grupo intensidad del ablandamiento² en cada una de las variables de textura³ obtenidas del análisis de compresión uniaxial.

| | Dureza inicial (24h) | | | Dureza final (14d) | | |
|---|----------------------|--------|-------|---------------------|--------|-------|
| | Grupo ablandamiento | | SE | Grupo ablandamiento | | SE |
| | Alto | Bajo | | Alto | Bajo | |
| | media | media | | media | media | |
| $F_{24} - F_{14}$ 20% (kg) | 0,636 | 0,428 | 0,060 | 0,464 | 0,680 | 0,072 |
| $Area_{24} - Area_{14}$ 0-20% (kg*mm) | 0,520 | 0,254 | 0,041 | 0,412 | 0,529 | 0,057 |
| $F_{24} - F_{14}$ 40% (kg) | 1,763 | 1,489 | 0,160 | 1,246 | 1,994 | 0,163 |
| $Area_{24} - Area_{14}$ 20-40% (kg*mm) | 2,173 | 1,375 | 0,200 | 1,606 | 2,556 | 0,275 |
| $F_{24} - F_{14}$ 60% (kg) | 2,773 | 2,923 | 0,326 | 2,174 | 3,320 | 0,328 |
| $Area_{24} - Area_{14}$ 40-60% (kg*mm) | 4,107 | 3,383 | 0,371 | 3,261 | 5,465 | 0,382 |
| $F_{24} - F_{14}$ 80% (kg) | 4,679 | 3,102 | 0,369 | 3,728 | 2,866 | 0,356 |
| $Area_{24} - Area_{14}$ 60-80% (kg*mm) | 4,851 | 6,086 | 0,447 | 4,157 | 7,534 | 0,420 |
| $F_{24} - F_{14}$ 100% (kg) | 7,055 | 5,731 | 0,475 | 5,749 | 7,334 | 0,443 |
| $Area_{24} - Area_{14}$ 80-100% (kg*mm) | 8,281 | 7,282 | 0,618 | 7,101 | 8,664 | 0,643 |
| $F_{max24} - F_{max,14}$ (kg) | 6,345 | 3,831 | 0,579 | 4,791 | 3,144 | 0,471 |
| $Area_{24} - Area_{14}$ 0-100% (kg*mm) | 18,994 | 19,317 | 1,393 | 16,494 | 24,798 | 1,482 |

1: Para una descripción de la dureza inicial y dureza final consultar la Tabla 10

2: Para una descripción de los grupos de intensidad de ablandamiento consultar la Tabla 10

3: Para una descripción de las variables de textura consultar la Tabla 5

Campo (1998) expuso, en un test como el empleado en el presente trabajo, que a bajas tasas de compresión se estudia el componente miofibrilar del músculo, mientras que a tasas elevadas de compresión se analiza el tejido conjuntivo del músculo. Basándose en el efecto de la maduración sobre el contenido en colágeno de la carne y sobre las variables de textura obtenidas en un ensayo de compresión uniaxial, Lepetit y Culioli (1994) señalaron que el 40% de compresión se considera ya el punto crítico en el cual todas las fibras de colágeno son puestas en tensión, ya que a partir de este grado de compresión no encontró un efecto significativo de la maduración. En la Tabla 5 podemos observar la falta de influencia de la maduración sobre tasas de compresión superiores al 80%. Del hecho de haber encontrado en el presente estudio diferencias significativas entre los distintos días de maduración hasta el 80% de compresión de las muestras, puede indicar, siguiendo el razonamiento de Lepetit y Culioli (1994), que el punto crítico de tensión del colágeno en la carne de toro de lidia estaría en torno al 80% de compresión. De esta forma podemos afirmar, siguiendo lo que dicen estos autores, que a partir de este punto, la resistencia que ofrece la carne se ve afectada no sólo por la estructura miofibrilar sino, sobre todo, por la red de tejido conjuntivo que no se ablanda a lo largo del tiempo de maduración del mismo modo que la estructura miofibrilar, lo cual implica la no existencia de diferencias entre los días de maduración para las variables de fuerza y área bajo la curva para compresiones superiores al 80% de la muestra.

Tal y como puede observarse en la Tabla 6, en algunas de las fuerzas de compresión y áreas debajo de la curva a porcentajes de compresión bajos, que se atribuye a las miofibrillas, existe una tendencia de la carne a presentar una mayor resistencia a la compresión en las muestras maduras 14 días. Este resultado podría ser contradictorio, ya que no sería esperable un aumento de la dureza con la maduración. Sin embargo, esta situación ya ha sido descrita con anterioridad en otros estudios (Novakofski y Brewer, 2006; Indurain y col., 2010) en los que se observa que aquellas muestras con una alta ternera inicial pueden aumentar su dureza tras un tiempo de maduración. Novakofski y Brewer (2006) dividen la carne de los animales estudiados en grupos en función de su ternera inicial y observan que existe una correlación positiva entre ternera inicial de la carne, la capacidad de retención de agua (CRA) y cantidad de grasa intramuscular. En el estudio de Indurain y col., (2010) concluyen que características comunes para este tipo de carne donde se produce un endurecimiento con la maduración son, una baja dureza

inicial, una alta CRA (capacidad de retención de agua) a las 24 horas post-mortem y un alto engrasamiento.

Centrándonos en los resultados obtenidos en la carne de toro de lidia, puede observarse como el proceso de ablandamiento está relacionado con la dureza inicial de la carne, mostrando una mayor dureza a las 24 horas aquellas carnes donde el ablandamiento entre los dos tiempos de maduración es más intenso (Tablas 10 y 11). Por tanto, tal y como expusieron Novakofski y Brewer (2006) e Indurain y col. (2010), el nivel de ablandamiento de una carne está relacionado con su terneza inicial siendo las muestras que más se ablandan (grupo de ablandamiento Alto) aquellas que inicialmente son más duras. Como es esperable, las muestras que presentan una menor dureza final (es decir, son más tiernas a los 14 días *postmortem*) son las que experimentan un mayor ablandamiento con la maduración.

Con respecto a la grasa intramuscular y tal y como exponen Novakofski y Brewer (2006), en la Tabla 9 de correlaciones puede observarse como, en las primeras fases de la compresión (correspondiente a las fibras musculares), las carnes donde se produjo un ablandamiento más intenso con la maduración se caracterizan por presentar un menor contenido en grasa ($p < 0,05$).

En cuanto a la terneza inicial de la carne de toro de lidia, al comparar los resultados obtenidos con los expuestos por Campo y col., (2000) se comprueba que el toro de lidia tiene una mayor terneza a las 24 horas *postmortem*. En dicho estudio se analiza la evolución de la terneza con la maduración en diferentes razas bovinas españolas (razas con doble musculatura, rápido crecimiento, doble propósito y razas no mejoradas). A las 24 horas de maduración la fuerza necesaria para llegar al mismo nivel de compresión es superior en las razas estudiadas por Campo y col. (2000) que en la carne de toro de lidia analizada en el presente trabajo ($0,85 - 0,94 \text{ kg/cm}^2$ vs. $0,53 \text{ kg/cm}^2$ para el 20% de compresión). Una posible razón para estos bajos niveles de dureza inicial en la carne de toro lidia puede estar relacionada con su alto pH final ($5,8 - 6,3$). En un trabajo realizado por Silva y col., (1999), en el que se compara la dureza de carne bovina con diferentes valores de pH final, se concluye que las muestras de carne DFD (*dark, firm, dry*) con un pH final superior a 6,2 muestran una menor resistencia al corte que las muestras con un pH normal entre 5,5 y 5,8; y las muestras con pH elevado maduras 24 horas tienen la misma resistencia al corte que las muestras de pH normal maduras 13 días. Estos resultados estarían en concordancia con los obtenidos en el presente

estudio. La media del pH a las 24 horas post sacrificio en los animales estudiados fue de 5,99 con 3 animales con valores de pH iguales o superiores a 6,2 y únicamente con 6 animales con pH menores de 6,0 (datos no mostrados). La Tabla 9 muestra que aquellos animales con mayor valor de pH son los que experimentan un menor ablandamiento en el valor de la fuerza de compresión al 80% y, por tanto, aquellos que tienen una mayor ternura a las 24 horas *postmortem* (Tabla 11). Para esta fuerza de compresión, los animales que experimentaron un mayor ablandamiento con la maduración (grupo de ablandamiento Alto) presentaron un pH medio de 5,87, mientras que los animales del con menor intensidad de ablandamiento (e incluso aumento de la dureza con la maduración) presentaron un pH medio de 6,12 (datos no mostrados) Esto también concuerda con otros estudios realizados por Katsaras y Peetz (1990) en los que justifican un endurecimiento de la carne con la maduración por una elevada CRA y un pH elevado (>6) lo que estaría ligado a una menor actividad proteolítica.

En resumen, aquellas carnes donde se produce un endurecimiento con la maduración (principalmente en las variables de medida de la fuerza de compresión en los momentos iniciales del test) se caracterizan por ser carnes más tiernas inicialmente y con un pH final más alto. Es decir, una menor dureza inicial y un mayor pH de la carne implicarían un menor potencial de ablandamiento de la carne y menor actividad de las calpaínas. Además, el contenido superior de colágeno podría hacer que la evolución de la dureza de la carne debida a la degradación miofibrilar se vea enmascarada por el mayor contenido en colágeno que requiere de tiempos de maduración más largos que las fibras musculares. Esto concordaría con la correlación negativa encontrada entre la intensidad del proceso de ablandamiento con la maduración en las variables obtenidas en el inicio de la compresión de la muestra (hasta un 60% de la altura de la muestra) y el contenido en colágeno total (Tabla 9). Además estaría de acuerdo con la relación positiva entre la fuerza máxima de compresión y las fuerzas y áreas debajo de la curva a elevados porcentajes de compresión cuyos valores se atribuyen al colágeno (Campo 1998) (Tablas 7 y 8) y quizás podría explicar el hecho de que la fuerza máxima esta relacionada negativamente con la resistencia atribuida a las miofibrillas en periodos cortos de maduración (Tabla 7) y positivamente en periodos largos de maduración (Tabla 8): en periodos cortos, cuando aún la degradación miofibrilar es escasa, las fibras musculares y el colágeno contribuyen de forma diferente a la resistencia a la compresión. En periodos largos, con una mayor degradación de las miofibrillas, la

resistencia que opone el colágeno enmascararía la que puedan oponen las miofibrillas degradadas.

5. COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS

La composición de ácidos grasos de la grasa intramuscular se muestra en las Tablas 12 y 13. Como se puede comprobar en la Tabla 12 existe un efecto significativo de la Ganadería en el porcentaje de MUFA (ácidos grasos monoinsaturados) y PUFA (ácidos grasos poliinsaturados) tanto en la fracción neutra como en la fracción polar ($p \leq 0,05$). En cuanto a los lípidos neutros, el efecto de la ganadería en los MUFA se debe principalmente a diferencias en el ácido oléico (C18:1c9) ($p \leq 0,05$) pero también existen diferencias en el ácido miristoléico (C14:1) ($p \leq 0,05$), margaroléico (C17:1) ($p \leq 0,01$) y vacénico (C18:1t11) ($p \leq 0,05$). En los PUFA las diferencias entre ganaderías se deben a los ácidos linoléico (C18:2n6cc) ($p \leq 0,05$), eicosadienoico (C20:2n6) ($p \leq 0,01$), eicosatrienoico (C20:3n6) ($p \leq 0,01$), araquidónico (C20:4n6) ($p \leq 0,001$) y docosahexaenoico (C20:6n3) ($p \leq 0,01$).

Analizando los lípidos polares se observa un efecto de la ganadería en el contenido de ácido miristoléico (C14:1) ($p \leq 0,01$), pentadecenoico (C15:1) ($p \leq 0,001$) y heptadecenoico (C17:1) ($p \leq 0,05$), lo que explicaría las diferencias entre la Ganadería A y Ganadería B en el contenido de MUFA de la grasa intramuscular. En el caso de los PUFA, el efecto Ganadería está presente en los ácidos linoleláidico (C18:2n6tt) ($p \leq 0,001$), linoléico (C18:2n6cc) ($p \leq 0,05$), linoléico (C18:3n3) ($p \leq 0,01$), eicosadienoico (C20:2) ($p \leq 0,01$), adrénico (C22:4) ($p \leq 0,05$) y los ácidos conjugados del ácido linoleico CLA 9c11t; CLA 10t12c CLA 9t10c

En el total de los SFA (ácidos grasos saturados) no se ha detectado un efecto Ganadería en ninguna de las dos fracciones. Sin embargo, en algunos ácidos concretos como son los ácidos margárico (C17:0) y esteárico (C18:0) en la fracción neutra. En la fracción polar se observan diferencias entre las ganaderías ($p < 0,05$) en los ácidos tridecílico (C13:0), mirístico (C14:0), pentadecanoico (C15:0), margárico (C17:0), esteárico (C18:0) y lignocérico (C24:0), y los isómeros isoC14:0, isoC15:0 y anteisoC15:0 ($p < 0,05$)

Las interacciones entre Ganadería y Animal tan solo aparecen en los SFA de la fracción polar como resultado de diferencias en los porcentajes de los ácidos palmítico (C16:0) ($p \leq 0,05$) y behénico (C22:0) ($p \leq 0,001$).

En la Tabla 13 se puede ver que, en general, los SFA con los ácidos grasos mayoritarios tanto en la fracción neutra como en la polar, excepto en el caso de la ganadería B donde los MUFA fueron mayoritarios en la fracción neutra. El elevado contenido en SFA se debe al alto contenido en los ácidos grasos C16:0 y C18:0 en ambas fracciones y el elevado porcentaje de ácido C22:0 en la fracción polar.

Existe un mayor porcentaje de MUFA en los lípidos neutros que en los polares debido principalmente al mayor contenido de C18:1t11 y C18:1c9 y en menor medida al porcentaje de C18:1t9 y C18:1c11 y C16:1c9. En la fracción polar, únicamente los ácidos grasos C18:1t9, C18:1c11 y C15:1 presentan porcentajes superiores al 1%. En el caso de los PUFA, presentan un mayor porcentaje en el caso de los lípidos polares. En ambas fracciones el ácido graso C18:2n6cc es claramente el ácido poliinsaturado mayoritario. En la fracción polar otros ácidos como el C22:3n6, C22:4n6 C22:5n3 superarían el porcentaje del 1%, mientras que únicamente el ácido C18:2n6cc supera este porcentaje en la fracción neutra.

Tabla 12: Niveles de significación estadísticos de los efectos Ganadería y Ganadería*Animal para la composición de ácidos grasos de la grasa intramuscular según la fracción lipídica¹

| | Ganadería | | Ganadería*Animal | |
|--------------------|-----------|-----|------------------|-----|
| | NL | PL | NL | PL |
| C12:0 | ns | ns | ns | ns |
| C13:0 | ns | * | *** | ns |
| isoC14:0 | ns | ** | *** | ns |
| C14:0 | + | ** | ns | ns |
| C14:1c9 | * | ** | *** | ns |
| isoC15:0 | ns | ** | *** | ns |
| anteisoC15:0 | ns | *** | * | ns |
| C15:0 | ns | * | ns | ns |
| iC16:0 | ns | + | ns | ns |
| C15:1 | ns | *** | ns | ns |
| C16:0 | + | ns | ns | * |
| C16:1t9 | ns | + | ns | ns |
| C16:1c9 | ns | + | ns | ** |
| anteisoC17:0 | ns | ns | ns | ns |
| C17:0 | * | * | ns | ns |
| C17:1c10 | ** | * | * | ** |
| C18:0 | * | * | * | ns |
| C18:1t9 | ns | ns | ns | ns |
| C18:1t11 | * | * | ns | ns |
| C18:1c9 | * | ns | ns | *** |
| C18:1c11 | ns | ns | ns | ** |
| C18:2n6t9t12 | + | *** | ns | ns |
| C18:2n6c9c12 | * | * | ns | + |
| C18:3n6 | ns | * | + | *** |
| C20:0 | ns | + | ** | ns |
| C18:3n3 | ns | ** | * | ns |
| CLA9c11t | + | ** | * | ns |
| CLA10t12c | * | * | ns | ns |
| C20:1c11 | ns | ** | * | ns |
| CLA9c10c | ns | ** | ** | ns |
| CLA9t11t | ** | + | ns | ns |
| C20:2n6 | ** | ** | ns | ns |
| C20:3n6 | ** | + | ns | ** |
| C22:0 | ns | ns | ns | *** |
| C20:4n6 | *** | ns | ns | ns |
| C20:5n3 | + | ns | ns | ns |
| C22:4n6 | ns | * | ns | ns |
| C24:0 | + | ** | ns | ns |
| C24:1 | * | + | * | ns |
| C22:5n3 | + | ns | ns | *** |
| C22:6n3 | ** | ns | * | ns |
| SFA ² | ns | ns | ns | * |
| MUFA ³ | * | * | ns | ns |
| PUFA ⁴ | * | * | ns | ns |
| PUFA/SFA | * | ns | ns | ns |
| n6/n3 ⁵ | ns | ns | ns | ns |

1: Fracción lipídica NL: lípidos neutros; Fracción lipídica PL: fosfolípidos. 2: Sumatorio de los ácidos grasos saturados. 3: Sumatorio de los ácidos grasos monoinsaturados. 4: Sumatorio de los ácidos grasos poliinsaturados. 5: n6: Sumatorio de los ácidos n6; n3: Sumatorio de los ácidos n3. ns: no significativo; ns+=p<0,1; *=p<0,05; **=p<0,01; ***=p<0,001

Tabla 13: Medias mínimo cuadráticas y errores típicos (SE) de los porcentajes de ácidos grasos en relación a los ácidos grasos totales, según la fracción lipídica¹ y la Ganadería

| | NL | | | | PL | | | |
|--------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | Ganadería A | | Ganadería B | | Ganadería A | | Ganadería B | |
| | media | SE | media | SE | media | SE | media | SE |
| C12:0 | 0,059 | 0,005 | 0,055 | 0,006 | 0,039 | 0,015 | 0,063 | 0,016 |
| C13:0 | 0,244 | 0,019 | 0,079 | 0,025 | 0,750 | 0,378 | 2,316 | 0,414 |
| isoC14:0 | 0,036 | 0,001 | 0,035 | 0,001 | 0,048 | 0,014 | 0,106 | 0,016 |
| C14:0 | 1,630 | 0,112 | 2,112 | 0,146 | 0,750 | 0,417 | 0,904 | 0,456 |
| C14:1c9 | 0,161 | 0,011 | 0,363 | 0,014 | 0,045 | 0,015 | 0,121 | 0,017 |
| isoC15:0 | 0,181 | 0,009 | 0,185 | 0,011 | 0,085 | 0,038 | 0,299 | 0,041 |
| anteisoC15:0 | 0,162 | 0,008 | 0,176 | 0,011 | 0,077 | 0,013 | 0,175 | 0,014 |
| C15:0 | 0,410 | 0,058 | 0,292 | 0,075 | 1,212 | 0,661 | 3,455 | 0,724 |
| iC16:0 | 0,025 | 0,004 | 0,007 | 0,005 | 0,066 | 0,008 | 0,095 | 0,009 |
| C15:1 | 0,309 | 0,076 | 0,195 | 0,098 | 1,119 | 0,658 | 4,174 | 0,721 |
| C16:0 | 20,458 | 1,221 | 24,040 | 1,582 | 5,764 | 0,328 | 5,271 | 0,360 |
| C16:1t9 | 0,171 | 0,009 | 0,199 | 0,012 | 0,540 | 0,123 | 0,811 | 0,135 |
| C16:1c9 | 2,293 | 0,454 | 2,313 | 0,589 | 0,273 | 0,016 | 0,413 | 0,017 |
| anteisoC17:0 | 0,668 | 0,046 | 0,731 | 0,059 | 0,094 | 0,009 | 0,102 | 0,010 |
| C17:0 | 0,630 | 0,041 | 0,814 | 0,053 | 0,205 | 0,011 | 0,159 | 0,012 |
| C17:1c10 | 0,296 | 0,018 | 0,525 | 0,023 | 0,094 | 0,005 | 0,153 | 0,005 |
| C18:0 | 19,867 | 0,575 | 15,123 | 0,746 | 19,348 | 1,122 | 15,248 | 1,229 |
| C18:1t9 | 6,131 | 0,487 | 7,188 | 0,631 | 0,578 | 0,110 | 0,506 | 0,121 |
| C18:1t11 | 9,099 | 0,885 | 12,134 | 1,148 | 0,543 | 0,060 | 0,250 | 0,065 |
| C18:1c9 | 17,524 | 1,378 | 24,287 | 1,786 | 7,856 | 0,235 | 9,034 | 0,258 |
| C18:1c11 | 3,548 | 2,790 | 4,207 | 3,616 | 1,448 | 0,053 | 1,501 | 0,058 |
| C18:2n6t9t12 | 0,279 | 0,054 | 0,113 | 0,070 | 0,877 | 0,159 | 0,145 | 0,175 |
| C18:2n6c9c12 | 8,598 | 1,497 | 2,658 | 1,940 | 30,077 | 0,586 | 25,999 | 0,642 |
| C18:3n6 | 0,094 | 0,011 | 0,046 | 0,014 | 0,069 | 0,002 | 0,107 | 0,003 |
| C20:0 | 0,186 | 0,009 | 0,164 | 0,012 | 0,295 | 0,015 | 0,235 | 0,017 |
| C18:3n3 | 0,184 | 0,008 | 0,175 | 0,011 | 0,131 | 0,012 | 0,102 | 0,013 |
| CLA9c11t | 0,086 | 0,011 | 0,167 | 0,015 | 0,069 | 0,009 | 0,028 | 0,009 |
| CLA10t12c | 0,090 | 0,005 | 0,091 | 0,006 | 0,093 | 0,011 | 0,056 | 0,012 |
| C20:1c11 | 0,200 | 0,012 | 0,253 | 0,015 | 0,073 | 0,010 | 0,025 | 0,011 |
| CLA9c10c | 0,143 | 0,015 | 0,067 | 0,019 | 0,357 | 0,059 | 0,109 | 0,065 |
| CLA9t11t | 0,108 | 0,009 | 0,062 | 0,011 | 0,041 | 0,004 | 0,028 | 0,004 |
| C20:2n6 | 0,661 | 0,084 | 0,014 | 0,109 | 1,122 | 0,292 | 0,277 | 0,320 |
| C20:3n6 | 0,361 | 0,045 | 0,053 | 0,058 | 1,238 | 0,066 | 1,770 | 0,073 |
| C22:0 | 2,259 | 0,960 | 0,128 | 1,244 | 17,576 | 0,420 | 17,069 | 0,460 |
| C20:4n6 | 0,346 | 0,035 | 0,084 | 0,045 | 1,539 | 0,345 | 2,343 | 0,377 |
| C20:5n3 | 0,459 | 0,088 | 0,072 | 0,114 | 0,606 | 0,200 | 0,272 | 0,219 |
| C22:4n6 | 0,232 | 0,065 | 0,007 | 0,085 | 0,284 | 0,048 | 0,106 | 0,052 |
| C24:0 | 0,367 | 0,105 | 0,036 | 0,136 | 2,076 | 0,137 | 1,582 | 0,151 |
| C24:1 | 0,110 | 0,011 | 0,006 | 0,014 | 0,343 | 0,025 | 0,230 | 0,027 |
| C22:5n3 | 0,415 | 0,089 | 0,037 | 0,116 | 1,947 | 0,048 | 2,166 | 0,053 |
| C22:6n3 | 0,118 | 0,009 | 0,010 | 0,011 | 0,246 | 0,044 | 0,194 | 0,048 |
| SFA ² | 47,592 | 1,296 | 44,664 | 1,680 | 48,386 | 0,632 | 49,079 | 0,692 |
| MUFA ³ | 40,253 | 2,016 | 51,681 | 2,614 | 12,913 | 0,764 | 17,217 | 0,836 |
| PUFA ⁴ | 12,154 | 1,859 | 3,655 | 2,409 | 38,700 | 0,883 | 33,703 | 0,967 |
| PUFA/SFA | 0,260 | 0,042 | 0,083 | 0,051 | 0,806 | 0,037 | 0,702 | 0,039 |
| n6/n3 ⁵ | 11,058 | 1,311 | 11,511 | 1,605 | 13,008 | 0,942 | 11,179 | 0,993 |

1: Fracción lipídica NL: lípidos neutros; Fracción lipídica PL: fosfolípidos. 2: Sumatorio de los ácidos grasos saturados. 3: Sumatorio de los ácidos grasos monoinsaturados. 4: Sumatorio de los ácidos grasos poliinsaturados. 5: n6: Sumatorio de los ácidos n6; n3: Sumatorio de los ácidos n3.

Como puede verse en la Tabla 12 existen diferencia significativa entre la Ganadería A y B en su perfil de ácidos grasos. Según Wood y col., (2008) la composición de ácidos grasos de la grasa intramuscular es dependiente de múltiples factores como son especie animal, raza, edad, sexo, nivel de engrasamiento y manejo pre-sacrificio. En el presente trabajo nos encontramos con animales machos enteros, de la misma raza y 4-5 años al sacrificio y entre los que no se observan diferencias significativas en el nivel de engrasamiento luego, las diferencias deberían ser debidas al manejo y probablemente a la alimentación. Esta suposición se basa en que, según numerosos autores, una dieta rica en cereal contribuyen al aumento del contenido de C18:2n6 en la grasa intramuscular mientras que dietas basadas en forraje aumentan el porcentaje de C18:3n3 (Dannenberger y col., 2004; Descalzo y col., 2005; Jiang y col., 2010). En los toros de lidia estudiados existen diferencias entre las ganaderías en el nivel de C18:2n6 por lo que podría ser que los animales de la Ganadería A, donde este ácido graso es más abundante, hayan tenido una dieta antes del sacrificio con un mayor contenido de pienso basado en cereales/soja y por ello el contenido de ácido linoleico es mayor.

En la carne, los lípidos están constituidos por componentes neutros (principalmente triglicéridos) y polares (en su mayoría fosfolípidos). Tal y como observan Wood y col. (2008), en la fracción neutra predominan los MUFA mientras que el porcentaje de PUFA es mayor en la fracción polar. En el presente trabajo queda demostrada nuevamente dicha relación (Tabla 13).

Los lípidos neutros representan el 85 – 92% de los lípidos totales, por lo que el perfil lipídico de la grasa total estaría determinado principalmente por el perfil lipídico de de la fracción neutra (Tejeda y col., 2002; Petrón y col., 2004; Pérez-Palacios y col., 2012). Tomando esto en consideración y observando la Tabla 13, el contenido de SFA, MUFA y PUFA en la Ganadería A es similar al encontrado en animales de razas autóctonas españolas (Avileña, Morucha, Parda Alpina, Pirenaica y Retinta) sacrificadas a un peso ligeramente inferior (450 – 550 kg) pero mucho más jóvenes 10-16 meses de edad (42-46% de SFA, 38-44% de MUFA y 11-16% de PUFA) (Insausti y col., 2004; Indurain y col., 2010). Este perfil de ácidos grasos puede considerarse propio de animales alimentados con concentrado, ya que la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos insaturados estaría limitada en este tipo de dieta por el pequeño tamaño de la partícula, el tránsito breve por el rumen, el elevado contenido en 18:2n-6 del alimento y el bajo pH ruminal (Partida y col. 2007).

La Ganadería B, sin embargo, por su elevado contenido en MUFA y su bajo contenido en PUFA, estaría más cercana a los datos que describen Wood y col. (2008) y Webb y O'Neill (2008) en sendas revisiones bibliográficas o los descritos en otras razas europeas (Hereford, Angus y Brown Swiss) las cuales muestran un porcentaje de 45-48% de SFA, 51-55% de MUFA y 5-7% de PUFA (Eichhorn y col., 1986). Un bajo contenido en PUFA a sido atribuido tradicionalmente tanto un bajo engrasamiento como a un aumento de la funcionalidad del rumen con la edad (Wood y col., 2008), sin embargo ninguno de estos factores pueden explicar la diferencia en el grado de poliinsaturación de la grasa entre ganaderías, ya que no existen ni diferencias en la edad de sacrificio ni en el engrasamiento y el nivel de engrasamiento únicamente presenta un coeficiente de correlación significativo ($p < 0,05$) en tres de los ácidos grasos analizados (C18:0, C18:1c11 y C18:3n-3) en la fracción neutra (y con el ácido C22:2n6 en la fracción polar) (datos nos mostrados), por lo que estas diferencias serían atribuibles a factores ligados al manejo ante mortem, como se a discutido anteriormente.

Con relación a la fracción polar, en el estudio realizado por Eichhorn y col., (1986) en el que se compara la composición lipídica en función de la edad, se observa como animales de mayor edad (toros) tienen un mayor contenido de fosfolípidos que animales más jóvenes (novillos) (13,8 % vs. 9,5%). En los toros de lidia analizados, animales de 4-5 años de edad, el porcentaje de fosfolípidos es de 12,5% por lo que está más cercano a los resultados expuestos por Eichhorn y col., (1986) para animales de mayor edad.

Centrándonos en los ácidos grasos mayoritarios y según distintos autores (Wood y col., 2008; Indurain y col., 2010; Jiang y col., 2010), los ácidos grasos principales de la grasa intramuscular en bovino son el palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oléico (C18:1n9) y linoleico (C18:2n6), los cuales representan más del 80% de los ácidos grasos de la grasa intramuscular de la carne. Dichos resultados están en concordancia con los obtenidos en los toros de lidia analizados en el presente trabajo (Tabla 13).

Con relación al C16:0 y C18:0, los valores obtenidos en este estudio son similares a los encontrados en animales más jóvenes (añejos) de otras razas autóctonas españolas (Avileña, Morucha, Parda Alpina, Pirenaica y Retinta) (Insausti y col., 2004; Indurain y col., 2010) y en animales de la propia raza brava (Berriain y col., 2011). El porcentaje de C18:1n9 muestra diferencias significativas entre las ganaderías analizadas (Tabla 12). En la ganadería B, el porcentaje de ácido oleico es cercano al obtenido en animales de raza Asturiana y Rubia Gallega (23,8% y 28,5% respectivamente) (Indurain y col.,

2010). Sin embargo, en la ganadería A el porcentaje de oleico es menor que el observado tanto en la carne de razas autóctonas españolas (Asturiana, Avileña, Morucha, Parda Alpina, Pirenaica, Retinta y Rubia Gallega; 23% – 36%) (Insausti y col., 2004, Indurain y col., 2010) como en la carne de toro de lidia (39,4% – 26,2%) (Beriaín y col., 2011). Sin embargo, las diferencias descritas por Insausti y col., (2004) e Indurain y col. (2010) en el contenido en ácido oleico serían atribuibles, al menos parcialmente, a diferencias en el nivel de engrasamiento entre razas, situación que no ocurre en el presente trabajo entre ganaderías.

Las diferencias en el perfil de ácidos grasos que se describen en la literatura a menudo son difíciles de comprender mediante el nivel de engrasamiento, la alimentación o la edad del animal. Por ejemplo, Oka y col. (2002) sugieren que la raza Japanese Black tiene una predisposición para producir depósitos grasos con mayores concentraciones de MUFA que otras razas. Malau-Aduli y col (1997) y Alfaia y col. (2006), afirman que las diferencias en el nivel del ácido C18:1n9 serían debidas a diferencias genéticas en la actividad enzimática Δ^9 desaturasa-elongasa. Igualmente, Wood y col. (2008) describen diferencias entre genotipos en la actividad enzimáticas elongasa-desatura del ácido C18:3n3 entre animales Holstein y Aberdeen-Angus. Esto podría llevar a pensar que, el peculiar sistema de cría y mejora genética del toro de lidia podría dar lugar a diferentes genéticas entre ganaderías que se manifiesten, entre otras cosas, en el perfil de ácidos grasos de la carne.

En cuanto al C18:2n6 los valores que se observan en los toros de lidia de la Ganadería A también son similares a los de otras razas rústicas españolas (6,6% – 8,0%) (Insausti y col., 2004; Indurain y col., 2010), pero en la Ganadería B el contenido de ácido linoleico es más cercano a razas inglesas como Hereford y Angus (3,1% – 3,8%) (Eichhorn y col., 1985).

En relación a la fracción polar, los ácidos grasos mayoritarios son el ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoléico (C18:2), behénico (C22:0) y clupanodónico (C22:5) (Tabla 12). Estos resultados están nuevamente en concordancia con lo expuesto por Eichhorn y col., (1985) y Wood y col. (2008).

De acuerdo con el nivel de engrasamiento (entre 3,3 y 3,9, Tabla 3) y el perfil de ácidos graso, la carne de toro de lidia puede ser considerado como un producto bajo en grasa (<5%) (Food Advisory Committee, 1990). Además, el SFA mayoritario, C18:0, se

considera un ácido graso neutral (Webb y O'Neill, 2008), y el principal MUFA encontrado, C18:1, tiene un impacto positivo contra las enfermedades cardiovasculares (Kwiterovich, 1997).

El Departamento de Sanidad y Seguridad Social del Reino Unido (1994), recomienda que el consumo de grasa no exceda el 35% de las calorías totales en la dieta humana y que las grasas saturadas no excedan el 10% de las calorías, debido al efecto sobre el nivel de hipercolesterolémico y trombogénico de los ácidos C14:0 y C16:0. Según esto, una ración de toro de lidia de 250 g de carne a la que se le hubiera eliminado toda grasa excepto la intramuscular (aproximadamente 3,5% de grasa y 22% de proteína) aportaría unos 350 kcal, de las cuales aproximadamente 80 provendrían de la grasa, de las cuales 35 corresponderían a la grasa saturada (asumiendo un contenido en SFA de 45%).

Cuando se estudia la calidad de la grasa desde el punto de vista nutricional y de su efecto sobre la salud humana, existen ciertas relaciones que son importantes en cuanto a la composición en ácidos grasos. Las más significativas son las proporciones PUFA/SFA, y n-6/n-3, las cuales están relacionadas con la salud y las enfermedades del corazón (Insausti y col., 2004).

Según el Departamento de Sanidad y Seguridad Social del Reino Unido (1994), el mínimo valor recomendado de PUFA/SFA es 0,45. Raes y col., (2004) sugieren que la relación PUFA/SFA está influenciada principalmente por factores genéticos y, en menor medida, por la nutrición, aunque una dieta rica en cereal tiene un efecto beneficioso para aumentar los PUFA y, por tanto, la relación PUFA/SFA (Webb y O'Neill, 2008) al aumentar el contenido en C18:2n-6. En los toros de lidia de la Ganadería A la relación PUFA/SFA es similar a la de otras razas rústicas españolas como Avileña, Morucha, Pirenaica, Parda Alpina y Retinta (entre 0,25 y 0,35) en animales con similar nivel de engrasamiento y alimentados a base de concentrado (Insausti y col., 2004; Indurain y col., 2010) y es ligeramente superior a la expuesta por Scollan y col. (2006) y Partida y col. (2007) como característica para la grasa vacuno alimentado de forma intensiva a base de cereal (0,22 a 0,24). Por el contrario, la Ganadería B tuvo un índice PUFA/SFA mucho menor, atribuible al bajo porcentaje del ácido C18:2n6.

La proporción de ácidos grasos n-6/n-3 inferior a cuatro es deseable para reducir el riesgo de muchas enfermedades crónicas (Wolfram, 2003). En ambas ganaderías la relación n-6/n-3 muestra unos valores superiores a cuatro. Sin embargo, estas proporciones son ligeramente inferiores a las encontradas por otros autores en ganado

vacuno alimentado con concentrado (16 – 25) (Alfaia y col., 2006; Wood y col., 2008; Indurain y col., 2010). Una proporción más favorable de n-6/n-3 en la grasa intramuscular se ha logrado mediante dietas que incluyen componentes tales como el aceite de pescado, harina de pescado, semillas de lino y/o forrajes, que son ricos en ácidos grasos n-3 (Raes et al., 2004). Sin embargo, estudios recientes (McAfee et al., 2010) sugieren que hay una falta de evidencia de que la reducción de la relación n-6/n-3 mejora la función fisiológica. Por lo tanto, el enfoque debería alejarse de la proporción n-6/n-3 y dar más importancia a cantidades absolutas de ácidos grasos n-3 y n-6. Así un filete de 250g de la Ganadería A (contenido graso del 3,2%, aportaría aproximadamente 100mg de ácidos grasos n-3 y 875mg de ácidos graso n-6. En la Ganadería B (contenido graso del 3,9%) las cantidades aproximadas serían 30 y 290 mg. respectivamente. Estas cantidades son mucho menores que los mínimos recomendados (1250 y 8700 mg/día, respectivamente) (Simopoulos, 2002).

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Los animales estudiados, machos de la raza de lidia y sacrificados con 4-5 años de edad, presentan una carne con un alto porcentaje de colágeno total y una baja solubilidad (5%), características atribuibles a su edad de sacrificio.
- La peculiar forma de sacrificio de estos animales en condiciones especialmente estresantes y probablemente el alto porcentaje de fibras musculares oxidativas esperable en este tipo de animales (machos no castrados de avanzada edad y alimentados con pasto), hacen que el pH final de la carne sea elevado, pudiéndose considerar la carne de varios de ellos como carne DFD.
- En comparación con otros estudios, esta carne presentaría una mayor terneza en tiempos cercanos al sacrificio. La baja dureza inicial en la carne de toro lidia estaría relacionada con su elevado pH final.
- La evolución de la dureza de la carne con la maduración estarían determinadas por su dureza inicial y su pH: Aquellas muestras donde se produce un mayor ablandamiento con la maduración se caracterizan por ser las más duras inicialmente y con un pH más bajo y por tanto, probablemente, con una mayor actividad proteolítica de las calpaínas.
- Los factores que determinan el ablandamiento de la carne en los tiempos de maduración estudiados, afectarían a la degradación de las fibras musculares, pero parecen no causar la degradación del colágeno. Por ello, especialmente en las carnes con un pH más elevado, si se considera que la dureza inicial es aceptable no estarían justificados tiempos de maduración tan largos como los analizados en el presente trabajo (14 días). Por el contrario, si se busca un ablandamiento extra, éste debería venir por la degradación de colágeno, lo que requeriría tiempos de maduración más largos que dos semanas.
- Por su nivel de engrasamiento y su perfil de ácidos grasos, la carne de toro de lidia puede ser considerada como un producto bajo en grasa (<5%) similar al encontrado en otras razas autóctonas española y que sería característico, al menos en parte, de animales alimentados con concentrado de cereal.

- Los ácidos grasos que presentan un mayor porcentaje tanto en la fracción neutra como en la polar serían los saturados palmítico y esteárico, los monoinsaturados oleico y vacénico, y el poliinsaturado linoleico.
- Se han encontrado diferencias entre ganaderías en el perfil de ácidos grasos que podrían sugerir diferencias en el sistema de manejo del animal en la explotación.
- Los índices PUFA/SFA, n-6/n-3 y el contenido total de ácidos grasos n-3 y n-6, están determinados por el porcentaje del ácido linoleico en los animales de las ganaderías estudiadas. En general la carne estudiada no alcanza los niveles recomendados para estos índices, pero serían similares al de otras carnes de vacuno producida en condiciones similares.
- Los resultados del presente Trabajo Fin de Carrera tienen un valor limitado por el bajo número de animales estudiados y por proceder de una única Feria y tipo de festejo. Sería deseable ampliar este estudio a otras Ferias y tipos de festejos donde intervienen animales de raza brava, para obtener así una muestra más amplia de animales y una mayor representatividad de la carne obtenida. Esto permitiría conseguir un conocimiento más profundo de los factores que determinan la calidad físico-química y sensorial de la carne de Toro de Lidia.

CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Alberti, P., Sañudo, C., Lahoz, F., Jaime, J. y Tena, T. Características de la canal y de la carne de terneros cebados con dietas forrajeras y suplementadas con distinta cantidad de pienso. ITEA (1988) 76, 3-14

Alfaia CMM, Ribeiro VSS, Lourenc,o MRA, Quaresma MAG, Martins SIV, Portugal APV, Fontes CMGA, Bessa RJB, Castro MLF and Prates JAM. Fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and cholesterol in beef from crossbred bullocks intensively produced and from Alentejana purebred bullocks reared according to Carnalentejana- DO specifications. Meat Science (2006) 72, 425–436.

Allen, P. New methods for grading beef and sheep carcasses. In: Evaluation of carcass and meat quality in cattle and sheep. EAAP publications No 123,2007 (Lazzaroni, C., Gigli, S., & Gabiña, D., eds.), 39-48. Ed.: Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands (2007).

AMSA. American Meat Science Association, 2001. Meat Evaluation Handbook. Ed.: American Meat Science Association. Savoy, Illinois, USA.

AMSA Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurement of fresh meat. American Meat Science Association in cooperation with National Live Stock and Meat Board. (1995).

Apple, J. K., Dikeman, M. E., Minton, J. E., McMurphy, R. M., Fedde, M. R., Leith, D. E., et al. Effects of restraint and isolation stress and epidural blockade on endocrine and blood metabolite status, muscle glycogen metabolism, and incidence of dark-cutting longissimus muscle of sheep. Journal of Animal Science, (1995) 73, 2295–2307.

Arana, A. y Insausti, K. Calidad y mejora de productos agroganaderos. T4: Calidad de la carne. Ingeniería Agrónoma, UPNA, 2010

Avery, N.C., Sims, T.J., Walkup, C. and Bailey, A.J. Collagen crosslinking in porcine M. Longissimus Lumborum: Absence of relationship with a variation in texture at pork weight. Meat Science 42 (1996) 355

Baulain, U., & Scholz, A. Image evaluation for different acquisition techniques in animal production. Proceeding of the 47th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 269. August 25-29, 1996. Lillehammer, Norway.

Beriain, M.J. Tecnología y calidad de los productos cárnicos Editado por: Gobierno de Navarra. Dep. Agricultura, ganadería y montes; 1993

Beriain, M. J., Horcada, A., Lizaso, G., Insausti, K. y Purroy , A. Meat quality from fighting bulls in Spain. Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XXI, Nº 1, 88 - 95, 2011

Beriain, M.J. y Lizaso, G. Coordinador: C. Buxadé. Vacuno de carne: Aspectos clave (segunda edición). Cap. VIII: Calidad – calidad de la carne de vacuno. Ediciones Mundi Prensas 1998

Beriain, M. J. y Purroy, A. I Jornada sobre Ganado de Lidia . Ponencias IX: Calidad de la carne de toro bravo. Pamplona, mayo 1999, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Pública de Navarra. Ed. Mundi – Prensa, 1999

Beriain, MJ., Sarries, MV., Indurain, G. y Insausti, K. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Cap. 6.3 Análisis de la composición en ácidos grasos de la grasa animal. INIA 2005

Bouton, P. E., & Harris, P. V. The effects of cooking temperature and time on some mechanical properties of meat. *Journal of Food Science*, (1972a) 37, 140–144.

Bouton, P. E., & Harris, P. V. A comparison of some objective methods used to assess meat tenderness. *Journal of Food Science*, (1972b) 37, 218–221.

Brandt M.A, Skinner E. Z., and Coleman J. A. Texture profile method. *Journal of Food Science* 28 (1963) 404

Brewer, S., & Novakofski, J. Consumer sensory evaluations of aging effects on beef quality. *Journal of Food Science*, (2008) 73, S78–S82.

Bruce, H.L., Stark, J.L., Beilken, S.L. The effects of finishing diet and postmortem ageing on the eating quality of the *M. longissimus thoracis* of electrically stimulated Brahman steer carcasses. *Meat Science* 67 (2004) 261–268

Burrow, H. M., Moore, S. S., Johnston, D. J., Barendse, W. and B. M. Bindon. Quantitative and molecular genetic influences on properties of beef: a review. *Aust. J. Exp.* (2001) 41:893

Caballero de la Calle, J.R. Producción de carne de toro de lidia. *Mundo Ganadero* n° 149 (11)18-21 (2002).

Campo, M. M. Influencia de la raza sobre al textura y las características sensoriales de la carne bovina a lo largo de la maduración. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. (1998).

Campo, M. M., Sañudo, C., Panea, B., Alberti, P., y Santolaria, P. Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Science*, 51: 383-390 (1999)

Campo, M. M., Santolaria, P., Lepetit, J., Olleta, J.L., Panea, B. and Albertí. P. Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science* 55 (2000) 371-378

Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, (2006) 72, 303–311.

Cassar-Malek, I.; Listrat, A.; Picard, B. Contrôle hormonal des caractéristiques des fibres musculaires après la naissance. *INRA Prod. Anim.* 11 : 34-45. 1998.

Chacón, A. La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana* 15(2): 225-243. 2004

Christensen, M., Ertbjerg, P., Failla, S., Sañudo, C., Richardson, R., Nute, G., Olleta, J., Panea, B., Albertí, P., Juárez, M., Hocquette, J., Williams, J. Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. *Meat Science* 87 (2011) 61–65

Clare, T.L.; Jackson, S.P.; Miller, M.F.; Elliot, C.T.; Ramsey, C.B. Improving tenderness of normal and callipyge lambs with calcium chloride. *Journal of Animal Science* (1997) 75: 377-385

Costell, E. y durán, L. El análisis sensorial en el control de calidad de los alimentos. II. Planteamiento y planificación: selección de pruebas. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos* (1981a) 21 (2), 149-166

Crouse, J.D., Seideman, S.C, and Cundiff, L.V. The effect of carcass electrical stimulation on meat obtained from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of Food Quality* 10 (1987) 407-416

Dannenberger, D., Nuernberg, G., Scollan, N., Schabbel, W., Steinhart, H., & Ender, K. Effect of diet on the deposition of n-3 fatty acids, conjugated linoleic- and C18:1 trans fatty acid isomers in muscle lipids of German Holstein bulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (2004) 52, 6607–6615

De Smet, S., Claeys, E., Buysse, G., Lenaerts, C., & Demeyer, D. Tenderness measurements in four muscles of Belgian blue normal and double-muscled bulls. In *Proceedings 44th International. Congress of Meat Science and Technology* (pp. 288–289). 30 August– 4 September (1998). Barcelona, Spain.

Departamento de Salud y Seguridad Social del Reino Unido (United Kingdom Department of Health and Social Security) 1994. Diet and cardiovascular disease. Report on health and social subjects. Her Majesty's Stationery Office, London, UK.

Descalzo, A.M., Insani, E. M., Biolatto, A., Sancho, A. M., García, P. T., Pensel, N. A., et al. Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. *Meat Science*, (2005) 70(1), 35–44.

Diario Oficial de la Unión Europea L 123, 07/05/1981. Regulación del Consejo (EEC) 1208/81 del 28 de abril de 11981 por el que se determina la escala comunitaria para la clasificación de canales de animales bovinos adultos.

Dikeman, M. E. Fat reduction animals and the effects on palatability and consumer acceptance on meat products. *Proceeding of the 49th Annual Reciprocal Meat Conference of the American Meat Science Association*, 40, 93-102. Chicago, Illinois, USA. (1987).

Dikeman, M. E., Pollak, E. J., Zhang, Z., Moser, D. W., Gill, C. A., & Dressler, E. A. Phenotypic ranges and relationships among carcass and meat palatability traits for

fourteen cattle breeds, and heritabilities and expected progeny differences for Warner-Bratzler shear force in three beef cattle breeds. *Journal of Animal Science*, (2005) 83, 2461–2467.

Dransfield, E. Meat tenderness. A unified model for meat tenderness. *Meat Focus Internat.*, September, 237 (1992)

Dransfield E. Tenderness of meat, poultry and fish. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. *Advances in meat research series*, vol 9. Cap 11, pp 289 (1994). Ed. Pearson A. M. y Dutson T. R. Blackie Academic & Professional. London.

Dransfield, E., Martin, J. F., Bauchart, D., Abouelkaram, S., Lepetit, J., Culioli, J., et al. Meat quality and composition of three muscles of French cull cows and young bulls. *Animal Science*, (2003) 76, 387–399.

Dupuy, H. P., Bailey, M. E., St Angelo, A. J., Vercellotti, J. R., & Legendre, M. G. Instrumental analysis of volatiles related to warmed-over flavour of cooked meats. In: *Warmed-over flavour of meat* (St Angelo, A. J. & Bailey, M. E., eds.), 165-191. Ed.: CRC Academic Press Inc. Boca Raton, Florida, USA. (1987).

Dutson, T.R. Connective tissue. *Proceed. Meat Industry Research Conference*, American Meat Institute, Arlington, VA. pp 99, (1974)

Eichhorn, J., Bailey, C., Blomquist, G. Fatty acid composition of muscle and adipose tissue from crossbred bulls and steers. *Journal of Animal Science*, Vol. 61, No. 4, 1985

Eichhorn, J. M., Coleman, L. J., Wakayama, E. J., Blomquist, G. J., Bailey, C. M. and Jenkins, T. G. Effects of breed type and restricted versus ad libitum feeding on fatty acid composition and cholesterol content of muscle and adipose tissue from mature bovine females. *J. Anim. Sci.* (1986) 63:781-794

Elmore, J. S., Mottram, D. S., Enser, M., & Wood, J. D. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatile. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, (1999) 47, 1619-1625.

Fazio, E., & Ferlazzo, A. Evaluation of stress during transport. *Veterinary Research Communications*, 27(Suppl.), 519–524 (2003).

Ferguson, D., Thompson, J., and Polkinghorne, R. Meat Standards Australia, A “PACCP” based beef grading scheme for consumers. 45th International Congress of Meat Science and technology, Yokohama, Japan, 45: 18-19 (1999).

Feuz, DM., Umberger, WJ., Calkins, CR., Sitz, B. U.S consumers’ willingness to pay for flavour and tenderness in steaks as determined with an experimental auction. *J. Ag. Resource Econ* (2004) 29 (3) 501-16

Food Advisory Committee 1990. Report on review of food labelling and advertising. Her Majesty’s Stationery Office, London, UK.

Forrest, Aberle, Hedrick, Judge y Merkel. Fundamentos de ciencia de la carne. Capítulo 6: conversión del músculo en carne. Editorial Acribia, 1979

Franco, J.; Feed, O.; Bianchi, G.; Garibotto, G.; Ballesteros, F.; Nan, F.; Percovich, M.; Piriz, M. y Bentancur, O. Parámetros de calidad de carne en cinco músculos de novillos Holando durante la maduración post-mortem. II. Evolución del color durante su almacenamiento. *Agrociencia* (2008) Vol XII N° 1 pág. 69 -73

French, P., O'Riordan, E. G., Monahan, F. J., Caffrey, P. J., Vidal, M., Mooney, M. T., et al. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage, or concentrate-based diets. *Meat Science*, (2000) 56, 173–180.

Gallo, C., Lizondo, G., & Knowles, T. G. Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Veterinary Record*, (2003) 152(12), 361–364.

Gardner, G. E., McIntyre, B. L., Tudor, G. D., & Pethick, D. W. The impact of nutrition on bovine muscle glycogen metabolism following exercise. *Australian Journal of Agricultural Research*, (2001) 52, 461–470.

Geay, Y., & Berenger, C. Estimation de la composition de la carcasse de jeunes bovins a partir d'composition d'un morceau monocostal au niveau de la 11e cote. *Annales de Zootechnie*, (1969) 18, 65-77.

Gerrard, D. E., Gao, X., & Tan, J. Beef marbling and color score determination by image analysis. *Journal of Food Science*, (1996) 61, 145-147.

Got, F.; Russet-Akrim, S.; Bayle, M.C.; Culioli, J. Effects of calcium lactate on tenderness and flavour of beef. *Viandes et Produits Carnes* (1996) 17(6): 328-330.

Grandin, T. Assessment of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science*, (1997) 75, 249–257.

Grandin, T. *Livestock handling and transport* (2nd ed.). Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing (2000).

Herring, H. K., Cassens, R. G., & Briskey, E. J. Further studies on bovine muscle tenderness as influenced by carcass position, sarcomere length, and fiber diameter. *Journal of Food Science*, (1965) 30, 1049–1054.

Hilton, G.F., Gentry, J.G., Allen, D.M. and Miller, M.F. Utilization of beef from different cattle phenotypes to produce a guaranteed tender beef product. *Journal of Animal Science* 82 (2004) 1190 – 1194

Hocquette, J.F.; Ortigues-Marty, I.; Damon, M.; Herpin, P.; Geay, Y. Régulation nutritionnelle et hormonale du métabolisme énergétique des muscles squelettiques des animaux producteurs de viande. *INRA Prod. Anim.* 13: 185-200. 2000

Hostetler, R. L., Link, B. A., Landmann, W. A., & Fitzhugh, H. A. Jr. Effect of carcass suspension on sarcomere length and shear force of some major bovine muscles. *Journal of Food Science*, (1972) 37, 132–135.

Huerta-Leidenz, N. O., Cross, H. R., Savell, J. W., Lunt, D. K., Baker, J. F., Pelton, L. S., and Smith, S. B. Comparison of the fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from mature Brahman and Hereford cows. *Journal of Animal Science* (1993) 71, 625–30.

Indurain, G., Beriain, M. J., Sarries, M. V. and Insausti, K. Effect of weight at slaughter and breed on beef intramuscular lipid classes and fatty acid profile. *Animal*, page 1 of 10 & The Animal Consortium 2010.

Indurain, G., Ugarte, E., Perez, P., Insausti, K., Beriain, MJ. Informe final proyecto “Objetivación y predicción de las características de calidad de la carne Eusko-label”. Fundación Kalitatea – Abadino, Vizcaya (2010).

Indurain G., Carr T. R., Goñi M. V., Insausti K., & Beriain M. J. The relationship of carcass measurements to carcass composition and intramuscular fat in spanish beef . *Meat Science* (2009) 82, 155–161

Insausti, K., Beriain, M.J., Alzueta, M.J., Carr, T.R., Purroy, A. Lipid composition of the intramuscular fat of beef from Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Science* 66 (2004) 639–646

International Standard ISO 1442-1973. Meat and meat products. Determination of moisture. Métodos de análisis de productos cárnicos. Anejo II, BOE 29/8/1979. pp. 2595-2603

Internacional Standard ISO 1443-1973. Meat and meat products. Determination of total fat content. Métodos de análisis de productos cárnicos. Anejo II, BOE 29/8/1979. pp. 2595-2603

Issanchou S., Schilch P. y Lesschaeve Y. Sensory analysis: methodological aspects relevant to the study of chesser. *Lait* (1996) 77, 5-12

Jacobs, K. T., Field, R. A., Botkin, M. P., & Riley, M. L. Effect of dietary stress on lamb carcass composition and quality. *Journal of Animal Science*, (1973) 36, 507–510.

Jiang, T., Busboom, J.R., Nelson, M.L., O'Fallon, J., Ringkob, T.P., Rogers-Klette, K.R., Joos, D., Piper, K. The influence of forage diets and aging on beef palatability. *Meat Science* 86 (2010) 642–650

Katsaras, K. and P. Peetz. Morphological changes in dark cutting beef when heated. *Fleischwirtschaft*. (1990) 70:68-70.

Kerth, C. R., Braden, K. W., Cox, R., Kerth, L. K., Rankins, D. L. Carcass, sensory, fat color, and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass (*Lolium multiflorum*) forage or on a high-concentrate diet. *Meat Science* 75 (2007) 324-331

King, D.A, Schuehle Pfeiffer, C.E, Randel, R.D, Welsh Jr., T.H, Oliphint, R.A, Baird, B.E, Curley Jr., K.O, Vann, R.C, Hale, D.S, Savell, J.W. Influence of animal

temperament and stress responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. *Meat Science* 74 (2006) 546–556

Kinsman, D., Kotula, A., Breidenstein, B. *Muscle food: Meat poultry and seafood technology*. Cap 7: Grading. Editorial Chapman and Hall. 1994.

Koohmaraie, M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science* (1996) 43: S193

Kuchida, K., Kono, S., Konishi, K., Van Vleck, L. D., Suzuki, M., & Miyoshi, S. Prediction of crude fat content of longissimus muscle of beef using the ratio of fat area calculated from computer image analysis: comparison of regression equations for prediction using different input devices at different stations. *Journal of Animal Science*, (2000) 78, 799-803.

Kwiterovich PO 1997. The effect of dietary fat, antioxidants, and pro-oxidants on blood lipids, lipoproteins, and atherosclerosis. *Journal of the American Dietetic Association* 97 (suppl.), 31–41.

Lepetit, J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. *Meat Science* 76 (2007) 147-159

Lepetit, J., & Culioli, J. Mechanical properties of meat. *Meat Science*, (1994) 36, 203-237.

Lepetit, J. and Salé, P. Analyse du comportement rhéologique de la viande par une méthode de compression sinusoïdale. *Science Aliments*. (1985) 5: 521-540.

Lepetit, J., Salé, P., and Ouali, A. Post-mortem evolution of rheological properties of the myofibrillar structure. *Meat Science* 16 (1986) 161-174

Lizaso, G. Calidad de la carne de ternera de las razas Pirenaica y Frisona. Public University of Navarre. Pamplona, Spain. Grade Thesis. 193 pp. 1998.

Lizaso, G.; Beriain, M.J.; Purroy, A.; Huartemendicoa, J.; Hernandez, B.; Chasco, J. Calidad de la carne de terneros machos de raza Pirenaica y su evolución durante la maduración. *Rev. ITEA*. 18: 772- 774. 1997.

López, J., Carmona y Soares; 2001. Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos. Cap 27: la calidad de la carne. Ed. Martín y Macías, 2001

Lourdes, M.; Escalona, H.; Guerrero, I. Effect of calcium chloride marination on calpain and quality characteristics of meat from chicken, horse, cattle and rabbit. *Meat, Poultry and Game* (1998) 48(1-2): 125-134.

Lunt, D. K., Smith, G. C., McKeith, F. R., Savell, J. W., Riewe, M. E., Horn, F. P., & Coleman, S. W. Techniques for predicting beef carcass composition. *Journal of Animal Science*, (1985) 60, 1201-1207.

- Malau-Aduli, A. E. O., Siebert, B. D., Bottema, C. D. K. y Pitchford, W. S. A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle. *Aust. J. Agric. Res.*, 1997, 48, 715–22
- Martín Cáceres, L. Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos. Cap 15: Composición química de la carne. Ediciones Martín y Macías, 2001
- Marzo, F. Biología y fisiología animal. T6: Sistema Muscular. Ingeniería Agrónoma, UPNA, 2010
- McAfee AJ, McSorley EM, Cuskelly GJ, Moss BW, Wallace JMW, Bonham MP and Fearon AM. Red meat consumption: an overview of the risks and benefits. *Meat Science* (2010) 84, 1–13.
- Mendizabal, J. A., Alberti, P., Eguinoa, P., Arana, A., Soret, B., & Purroy, A. Adipocyte size and lipogenic enzyme activities in different adipose tissue depots in steers of local Spanish breeds. *Animal Science*, (1999) 69, 115-121.
- Mendizábal, J.A., Purroy, A., Indurain, G. y Insausti, K. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Cap. 5.7 Medida del grado de veteado de la carne mediante análisis de imagen. INIA 2005
- Mohino, A. Tecnología y calidad de los productos cárnicos. Cap. Obtención de carne, manipulación y sacrificio. Gobierno Navarra, 1993
- Monsón, F., Sañudo, C. y Sierra, I. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Science*, (2004) 71, 471-479
- Monsón, F., Sañudo, C. y Sierra, I. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Science*, (2005) 71, 471-479
- Mormède, P., Courvoisier, H., Ramos, A., Marissal-Arvy, N., Ousova, O., & De´sautès, C. Molecular genetic approaches to investigate individual variations in behavioural and neuroendocrine stress responses. *Psychoneuroendocrinology*, (2002) 27, 563–583.
- Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P.E., Raats, J.G. Relationship between pre-slaughter stress responsiveness and beef quality in three cattle breeds. *Meat Science* 81 (2009) 653–657
- Muir, P. D., Deaker, J. M., & Bown, M. D. Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, (1998) 41, 623–635.
- Nishimiura, T., Liu, A., Hattori, A. and K. Takashashi. Changes in mechanical strength of intramuscular connective tissue during post-mortem ageing of beef. *Journal of Animal Science* (1998) 76: 528

Noci, F., Monahan, F. J., French, P., & Moloney, A. P. The fatty acid composition of muscle fat and subcutaneous adipose tissue of pasture-fed beef heifers: Influence of the duration of grazing. *Journal of Animal Science*, (2005) 83, 1167–1178.

Novakofski, J. and Brewer, S. The paradox of toughening during the ageing of tender steaks. *Journal of food science* Vol. 71, Nr 6, 2006

O'Connor, S.F., Tatum, J.D., Wulf, D.M., Green, R.D., & Smith, G.C. Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science* 75 (1997) 1822-1830.

O'Neill, H. A., Webb, E. C., Frylinck, L., Strydom, P. E. The stress responsiveness of three different beef breed types and the effect on ultimate pH and meat colour. *Proceedings 52nd international congress of meat science and technology* (pp. 181–182). 13–18 August 2006, Dublin, Ireland.

Oka, A., Iwaki, F., Dohgo, T., Ohtagaki, S., Noda, M., Shiozaki, T., Endoh, O. and Ozaki, M. Genetic effects on fatty acid composition of carcass fat of Japanese Black Wagyu steers. *Journal of Animal Science* (2002) 80: 1005–1011.

Okumura, T., Saito, K., Sowa, T., Sakuma, H., Ohhashi, F., Tameoka, N., Hirayama, M., Nakayama, S., Sato, S., Gogami, T., Akaida, M., Kobayashi, E., Konishi, K., Yamada, S., Kawamura, T. Changes in beef sensory traits as somatic-cell-cloned Japanese black steers increased in age from 20 to 30 months. *Meat Science* 90 (2012) 159–163

Ouali, A. Meat Tenderization: Possible causes and mechanism. A review. *Journal of Muscle food*, 1, 129 (1990)

Partida, JA., Olleta, JL., Sañudo, C., Alberti, P. and Campo, MM. Fatty acid composition and sensory traits of beef fed palm oil supplements. *Meat Science* (2007) 76, 444–454.

Pearson, AM. y Dutson, TR. *Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products*. Ed. Blackie academia & professional. 1992

Perkins, T. L., Paschal, J. C., Tipton, N. C., & De la Zerda, M. J. Ultrasonic prediction of quality grade and percent retail cuts in beef cattle. *Journal of Animal Science*, (1997) 75(Suppl. 1), 178(Abstr.).

Pérez-Palacios, T., Ruiz, J., Ferreira, I.M.P.L.V.O., Petisca, C., Antequera, T. Effect of solvent to sample ratio on total lipid extracted and fatty acid composition in meat products within different fat content. *Meat Science* 91 (2012) 369 – 373

Perry, D., Thompson, J. M., Hwang, I. H., Butchers, A., and Egan A. F. Relationship between objective measurements and taste panel assessment of beef quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, (2001) 41: 981-989

- Petrón, MJ., Muriel, E., Timón, ML., Marín, L. y Antequera, T. Fatty acids and triacylglycerol profiles from different types of Iberian dry-cured hams. *Meat Science*, (2004) 68, 71 - 77
- Picard B., Sante-Lhoutellier V, Fiot I, Gatellier P., Durand D., Micol D. L'AOC Taureau de Camargue. Spécificités des muscles des bovins de l'AOC Taureau de Camargue. *Viandes Prod. Carnés Vol 27 (4)* (2009).
- Price, J. y Schweigert, B. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Ed. Acribia, 1994
- Powel, W. E., & Huffman, D. L. An evaluation of quantitative estimates of beef carcass composition. *Journal of Animal Science*, (1968) 27, 1554-1562.
- Purchas, R. W., Knight, T. W., & Busboom, J. R. The effect of production system and age on concentrations of fatty acids in intramuscular fat of longissimus and triceps brachii muscles of Angus-cross heifers. *Meat Science*, (2005) 70, 597–603.
- Purroy, A. y Mendizábal, J.A. *Zootecnia: Bases de la producción animal*. Tomo XI: Producciones equinas y de ganado de lidia. Ed. Mundi Prensa (1996).
- Purroy, A. *La cría del toro bravo*. Arte y progreso. Ed. Mundi Prensa (1988).
- Purroy, A. *Comportamiento del toro de lidia*. En el campo, en el ruedo. Universidad Pública de Navarra (2003)
- Quarrier, E., Carpenter, Z. L., & Smith, G. C. A physical method to increase tenderness in lamb carcasses. *Journal of Food Science*, (1972) 37, 130–131
- Raes K, De Smet S and Demeyer D. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. *Animal Feed Science and Technology* (2004) 113, 199–221.
- REAL DECRETO 260/2002, de 8 de marzo, por el que se fijan las condiciones sanitarias aplicables a la producción y comercialización de carnes de reses de lidia.
- Resconi, V.C., Campo, M.M., Font i Furnols, M., Montossi, F., Sañudo, C. Sensory quality of beef from different finishing diets. *Meat Science* 86 (2010) 865–869
- Robbins, K., Jensen, J., Ryan, KJ., Homco-Ryan, C., McKeith, FK., Brewer, MS. Consumer attitudes towards beef and acceptability of enhanced beef. *Meat Science* (2003) 65 (2) 721-9
- Roncalés Rabinal, P. Coordinador: S. Martín Bejarano. *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*. Cap 14: Transformación del músculo en carne. Rigor mortis y maduración. Ediciones Martín y Macías, 2001
- Sanz Egaña, C. *Enciclopedia de la carne*. Ed. Espasa – Calpe, 1967

Sañudo, C. Tecnología y calidad de los productos cárnicos. Cap: Calidad organoléptica de la carne. Editado por: Gobierno de Navarra. Departamento de agricultura, ganadería y montes (1993).

Sañudo, C., Cepero, R y Sierra, I. Variación en la calidad de la carne porcina desde el sacrificio hasta la venta al consumidor. *Anaporc*, 32, 9-33 (1985)

Sañudo, C y Campo, M.M. Producción de ganado de vacuno de carne y tipos comerciales en España. Cap: Calidad de la carne de vacuno. Ed. Schering – Plough, 2008

Savell, J. W., Branson, R. E., Cross, H. R., Stiffler, D. M., Wise, J. W., Griffin, D. B., & Smith, G. C. National consumer retail beef study: palatability evaluations of beef loin steaks that differed in marbling. *Journal of Food Science*, (1987) 52, 517-519, 532.

Shackelford, S. D., Wheeler, T. L. y Koohmaraie, M. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness rating of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* Cattle. *Journal of Animal Science*. 1995. 73: 3333-3340

Schnell, T. D., Belk, K. E., Tatum, J. D., Miller, R. K., and Smith, G. C. Performance, carcass and palatability traits for cull cows fed high-energy concentrate diets for 0, 14, 28, 42 or 56 days. *Journal of animal Science*, (1997) 75, 1195-1202

Schor, A., Cossu, M., Picallo, A., Martínez Ferrer, J., Grigera Naón, J., Colombatto, D. Nutritional and eating quality of Argentinean beef: A review. *Meat Science* 79 (2008) 408–422

Serra, X., Guerrero, L., Guardia, M.D., Gil, M., Sañudo, C., Panea, B., Campo, M.M., Olleta, J.L., García-Cachán, M.D., Piedrafita, J., Oliver, M.A. Eating quality of young bulls from three Spanish beef breed-production systems and its relationships with chemical and instrumental meat quality. *Meat Science* 79 (2008) 98–104

Silva, J.A., Patarata, L., Martins, C. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Science* 52 (1999) 453-459

Simopoulos, A. P. The importance of the ratio omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine and Pharmacotherapy* (2002) 56: 365-379.

Scollan, N. D., Choi, N. J., Kurt, E., Fisher, A. V., Enser, M., & Wood, J. D. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *The British Journal of Nutrition*, (2001) 85, 115–124.

Smith, G. C., Culp, G. R., and Carpenter, Z. L. Postmortem aging of beef carcasses *Journal of food science*, (1978) 43: 823-826

Soria, L.A. y Corva, P.M. Factores genéticos y ambientales que determinan la ternera de la carne bovina. *Arch. Latinoam. Prod. Anim (ALPA)*. 2004. 12 (2): 73-88

Spanier, A. M., Flores, M., McMillin, K. W., & Bidner, T. D. The effect of postmortem aging on meat flavor quality in Brangus beef. Correlation of treatments, sensory, instrumental and chemical descriptors. *Food Chemistry*, (1997) 59(4), 531–538.

Stelzleni, A. M., & Johnson, D. D. Effect of days on concentrate feed on sensory off-flavor score, off-flavor descriptor and fatty acid profiles for selected muscles from cull beef cows. *Meat Science*, (2008) 79(2), 382–393.

Szczesniak A. S., Brandt M. A. y Friedman H. H. Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and the sensory methods of texture evaluation. *Journal Food Science*, 28, 397 (1963)

Takahashi, K. Structural weakening of skeletal muscle tissue during post-mortem ageing of meat: the non-enzymatic mechanism of meat tenderization. *Meat Science* 43 (1996) S 67

Taylor, R.G., Geesink, G. E., Thompson, V. F., Koohmaraire, M. and D. E. Goll. Is Z-disk degradation responsible for post-mortem tenderization? *Journal of Animal Science* (1995) 73: 1351

Tejeda, J. F., Gandmer, G., Antquera, T., Viau, C. y García, C. Lipid traits of muscles as related to genotype and fattening diet in Iberian pigs: total intramuscular lipids and triacylglycerols. *Meat Science*, (2002) 60, 357 - 363

Thompson, B.C.; Dobbie, P.M. 1997. The effect of calcium chlorine treatment on shear force and weight loss in gluteus medius and longissimus muscles from pasture fed bulls. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 40(4): 507-512.

Thompson, J. Managing meat tenderness. *Meat Science* 62 (2002) 295-308

Tornberg, E. Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science* 43 (1996) S 175

Torrescano, G., Sánchez-Escalante, A., Giménez, B., Roncalés, P., Beltrán, J.A. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science* 64 (2003) 85–91

Touraille, C. Influence du sexe et de l'âge a l'abattage sur les qualités organoleptiques des viands de bovines Limousins abattus entre 16 et 32 mois. *Bull. Tech. CRZV. Theix*. 48, 83-89 (1982)

USDA. The Role of USDA's Beef Grading Program in the Beef Market. Available: <http://www.ams.usda.gov/lsg/mgc/beefrole.htm>

USDA. United States Department of Agriculture. <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>

Varela, A., Oliete, B., Moreno, T., Portela, C., Monserrat, L., Carballo, J. A., & Sánchez, L. Effect of pasture finishing on the meat characteristics and intramuscular fatty acid profile of steers of the Rubia Gallega breed. *Meat Science*, (2004) 67, 515–522.

Verbeke, W.; Vackier, I. Profile and effects of consumer involvement in fresh meat. *Meat Sci.* 67 (1): 159- 168. 2004.

Vernon, R. G. The growth and metabolism of adipocytes. In: *Control and Manipulation of Animal Growth* (Christie, W. W., ed.), 279-365. Ed.: Pergamon Press. Oxford, UK. (1986).

Villarroel, M., María, G.A., Sañudo, C., Olleta, J.L., Gebresenbet, G. Effect of transport time on sensorial aspects of beef meat quality. *Meat Science* 63 (2003) 353–357

Warren, H.E., Scollan, N.D., Nute, G.R., Hughes, S.I., Wood, J.D., Richardson, R.I. 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

Warriss, P. D. *Meat Science: An Introductory text*. CABI Publishing. New Cork. Chapter 3 and 5 (2000)

Warriss, P. D., & Brown, S. N. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Science*, (1987) 20, 65–74

Watanabe, A.; Daly, C.C.; Devine, C.E. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Sci.* 42: 67-78. 1996

Webb EC and O'Neil HA. The animal fat paradox and meat quality. *Meat Science* (2008) 80, 28-36

Westerling, D. A., & Hedrick, H. B. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, (1979). 48, 1343–1348.

Wheeler, T. L., Cundiff, L. V., & Koch, R. M. Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos Taurus* and *Bos Indicus* cattle. *Journal of Animal Science*, (1994) 72, 3145-3151.

Wheeler, T.; Koohmaraie, M.; Crouse, J. The effect of postmortem time of injection and freezing on the effectiveness of calcium chloride for improving beef tenderness.. *Journal of Animal Science* (1992) 70: 3451- 3457.

Wheeler, T.; Koohmaraie, M.; Landsdell, J.; Siragusa, G.; Miller, M. Effects of post-mortem injection time, injection level, and concentration of calcium chloride on beef quality traits. *Journal of Animal Science* (1993) 71: 2965-2974.

Wheeler, T. L. and M. Koohmaraie. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, (1994) 72: 1232

Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., and Koohmaraie, M. Standardizing collection and interpretation of Warner-Bratzler shear force and sensory tenderness data. *Proceedings 50th annual reciprocal meat conference* (1997) (68-77), Ames, IA

Windham, W. R., & Morrison, W. H. Prediction of fatty acid content in beef neck lean by near infrared reflectance analysis. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, (1998) 6, 229-234.

Wolfram, G. Dietary fatty acids and coronary heart disease. *Euro Journal of Med Res.* 8: 321-324. 2003.

Wood, J. D., & Enser, M. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *The British Journal of Nutrition*, 8 (Suppl. 1), S49–S60 (1997).

Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., Whittington, F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 78 (2008) 343 – 358

Zamorano, M., J.M., Ramos, G.E., & Picallo, A. Efectos del “Tendercut” y maduración sobre la terneza de la carne de novillos Hereford. *Revista Argentina de Producción Animal*, (2002) 22 (Sup. 1), 409-411.

Zulet, M. Caracterización de la textura de la carne de ternera producida en Navarra (2000). Trabajo Fin de Carrera. Departamento de Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra

Anuario estadístico del MARM

<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/default.aspx>

Estadísticas taurinas de la Universidad de Castilla – La Mancha

<http://www.uclm.es/profesorado/produccionanimal/TAUROLOGIA/EstadisticasTaurinas2010.pdf>

Organización de la fibra muscular

<http://magisnef.wordpress.com/2007/04/02/fisiologia-muscular-componentes-del-musculo/>

Organización del tejido conectivo en la fibra muscular

<http://blogdefarmacia.com/crecimiento-y-regeneracion-del-musculo-esqueletico-estriado/>

CAPITULO VIII: ANEXOS

ANEXO 1

REACTIVOS - Ensayo de hidroxirolina

Solución de ácidos (solución 1)

| | |
|--|----------|
| K ₂ HPO ₄ | 4,8 gr. |
| KH ₂ PO ₄ | 0,54 gr. |
| K ₃ PO ₄ ·H ₂ O | 0,92 gr. |
| H ₂ O (a enrase) | 1000 ml. |

Solución de sales (solución 2)

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| CaCl ₂ | 1,332 gr. |
| MgCl ₂ ·6H ₂ O | 2,44 gr. |
| NaCl | 81,82 gr. |
| H ₂ O (a enrase) | 1000 ml. |

Solución de KNCO₃ (solución 3)

| | |
|-----------------------------|----------|
| KHCO ₃ | 10,2 gr. |
| H ₂ O (a enrase) | 1000 ml. |

Solución Ringer 1:4

| | |
|-----------------------------|----------|
| Solución 1 | 12,5 ml. |
| Solución 2 | 12,5 ml. |
| Solución 3 | 12,5 ml. |
| H ₂ O (a enrase) | 500 ml. |

Cloramina T

| | |
|-----------------------------|----------|
| Cloramina T | 1,40 gr. |
| CH ₃ COONa | 4,10 gr. |
| Isopropanol | 10 ml. |
| H ₂ O (a enrase) | 100 ml. |

Reactivo de Enrich's/pDMBA

| | |
|-------------------|------------|
| p-DMBA | 14,919 gr. |
| Isopropanol | 70 ml. |
| HClO ₄ | 30 ml. |

Solución madre de hidroxirolina (36 µg/ml)

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Hidroxirolina | 0,036 gr. |
| H ₂ O (a enrase) | 1000 ml. |

ANEXO 2

La prueba de compresión se realizó bajo los siguientes parámetros:

Modo de ensayo

Medida de fuerza en compresión
Vuelve al inicio

Parámetros

Velocidad pre-ensayo: 6,0 mm/s
Velocidad ensayo: 0,8 mm/s
Velocidad post-ensayo: 6,0 mm/s
Distancia: 100%

Tigger

Tipo: auto
Fuerza: 0,045 kg
Parar plot en: retorno del Tigger
Auto tare: seleccionado
Detectar ruptura: retorno – rango
Sensibilidad: 0,1 kg

Unidades

Fuerza: kg
Capacidad: deformación %

Macros

Ir al tiempo mínimo
Fijar anclaje 1
% distancia máxima +20
Marcar fuerza
Fijar anclaje 2
Área
% distancia máxima +40
Marcar fuerza
Fijar anclaje 3
% distancia máxima +60
Fijar anclaje 4
% distancia máxima +80
Fijar anclaje 5
% distancia máxima +100
Fijar anclaje 6
Área
Ir al tiempo mínimo
Fijar anclaje 7
% distancia max 100%
Fijar anclaje 8
Área