

Universitat Autònoma de Barcelona



Facultat de Ciències

Bellaterra (Barcelona)

**LA RAÇA BOVINA BRUNA DELS PIRINEUS:
QUALITAT DE LA CANAL I DE LA CARN.
CARACTERÍSTIQUES BIOQUÍMIQUES DEL
MÚSCUL *LONGISSIMUS THORACIS*
EN SET RACES AUTÒCTONES**

TESI DOCTORAL

Xavier Serra i Dalmau

2001

IRTA Institut de Recerca
i Tecnologia
Agroalimentàries

Centre de Tecnologia de la Carn

Unitat de Qualitat de la Canal i de la Carn

Monells (Girona)

**LA RAÇA BOVINA BRUNA DELS PIRINEUS:
QUALITAT DE LA CANAL I DE LA CARN.
CARACTERÍSTIQUES BIOQUÍMIQUES DEL
MÚSCUL *LONGISSIMUS THORACIS*
EN SET RACES AUTÒCTONES**

Xavier Serra i Dalmau

2001

**Centre de Tecnologia de la Carn
Unitat de Qualitat de la Canal i de la Carn
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)**

Codirectores de Tesi:

Dra. M. Àngels Oliver i Pratsevall

Dra. Marta Gil i Farré

**Departament de Bioquímica i de Biologia Molecular
Facultat de Ciències
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)**

Tutor de Tesi:

Dr. Enrique Querol Murillo

*A la meva família, els meus pares, en Jordi
i l'Esther i, a la memòria dels meus avis.*

A la Sònia.

AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu sincer agraïment a totes les persones i entitats que d'una manera o altra han fet possible la realització d'aquesta tesi:

En primer lloc, voldria agrair a les directores de la tesi, la M. Àngels Oliver i la Marta Gil, la confiança que m'han demostrat en tot moment i el bon ambient que han fet que sigui una magnífica experiència de recerca, de viatges i d'amistat.

A la Marina Gispert per les seves orientacions en l'organització de les tasques, l'ajuda a posar ordre a les dades, i els sopars a Canapost!

Vull agrair, només faltaria que us deixés!..., a l'Agustí Quintana (i el seu coixí) per les moltes hores compartides a la carretera i a l'escorxador, de nit i de dia; i també, molt especialment, a la M^a José Bautista, en Jordi Serrats, en Lluís Salvà i la Sílvia Cofan, per la seva valuosa ajuda a l'escorxador i al laboratori.

Al Dr. Alejandro Diestre, el cap de la *Unitat de Qualitat de la Canal i de la Carn*, per la seva confiança i el bon acolliment des del primer moment a la unitat, i a la Iolanda Sardà, per la seva atenció i amabilitat.

A la Dra. Maria Font, per l'amistat i el temps compartit com a becaris de la U-41 i les seves ganes organitzadores de partits de volei-platja i altres sortides. I també als becaris i amics companys de feina, pels partits de volei-platja i les teràpies de grup a la polivalent: Dr. Joan Gelabert, Dr. Josep Comaposada, Dra. Teresa Aymerich i Mònica Pascual.

A en Luis Guerrero, per la inestimable ajuda en les qüestions d'anàlisi sensorial i estadística. Pel seu humor, la seva "picosi" i el pilot de cims i pics que hem anat fent entre anàlisi i anàlisi. Pels camins perduts i retrobats, per molts anys...a Cregüenya!

A la M. Dolors Guàrdia i a tots els panelistes: Mònica, Filiberto, M. Àngels, Josep, M^a José, Maria, Lluís, Jordi, Agustí i Luis, sense la participació dels quals no hauria estat possible la part d'anàlisi sensorial de les mostres de vedella, malgrat que molts haurien preferit tastar-les més fetes i condimentades.

Al Dr. Pere Gou, pels consells en l'anàlisi estadística, els dinars i les calçotades a Torroella, els caiacs i el ping-pong...

La realització d'aquesta tesi ha estat possible gràcies a una beca de l'IRTA, en el marc del projecte FAIR1_CT95_0702: "*Characterization and assessment of genetic aptitudes of european local beef cattle breeds for producing quality meat*", finançat per la Unió Europea.

Al Dr. Jesús Piedrafita per l'esforç, la dedicació i la paciència, com a coordinador del projecte, així com també a la Raquel Quintanilla i la Marta Martín de la Facultat de Veterinària de l'Universitat Autònoma de Barcelona.

Al Centre de Tecnologia de la Carn-IRTA de Monells i al seu director, el Dr. Josep M. Monfort, per l'acolliment i per permetre'm participar en aquest treball de recerca.

A la gent del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza: Dr. Carlos Sañudo, Dra. Marimar Campo, Dra. Begoña Panea i Dr. José Luis Olleta, per l'excel·lent ambient de col·laboració i ajuda mantingut durant aquest temps.

A tot el personal i a la gent que, com jo, han "passat" pel Centre de Tecnologia de la Carn: Narcís, Àngel, Eugeni, Carmen, Glòria, Montse Pagès, Montse Padrós, Josep Arnau, Sònia, Sra. Maria, Sra. Anita, Marta, Margarita, Yolanda, Carme, Sandra, Isabel, José Antonio, Maria, M. Àngels, José Luis, Cinto, Kim, Bernardo, Filiberto, Toni, Olga, Carles, Pitu, "Carlus", Cesca, Ciriaco, Idoia, Elmar, Petra, Bernhard, Rui, Miguel Àngel, Carlos, Soledad, Josep, Natàlia, Amàlia, Idoia Gobantes, Belén i Jorge Alberto. I també a la gent del Centre de Control Porcí: Anna, Joan i Joaquim.

A en Ramon M. Pellicer de Casa Barbats de Casserres de Berguedà, per la seva dedicació i cura dels animals.

A la Federació de la vaca Bruna dels Pirineus (FEBRUPI) i a tots els ramaders de la raça Bruna dels Pirineus que han aportat els vedells, per fer possible aquest treball.

A en Valentí Casals, en Joan Padró i a la gent de l'Escorxador Comarcal del Bages, de Manresa i de l'escorxador de Mafrica, SA de Sant Joan de Vilatorrada, per la seva col·laboració.

A totes les persones i grups participants al projecte FAIR1_CT95_0702: Departament de Patologia i de Producció Animals, Universitat Autònoma de Barcelona; Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza; Estación Tecnológica de la Carne, Junta de Castilla y León, Guijuelo,

Salamanca; Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, Villaviciosa, Asturias; Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Junta de Extremadura, Badajoz; Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid; Instituto Nacional de Investigação Agrária, Direcção de Serviços de Produção e Melhoramento Pecuário, Lisboa; Centro de Estudos em Ciência Animal, Universidade do Porto; Station de Génétique Quantitative et Appliquée, INRA, Jouy en Josas; Laboratoire de Génétique Biochimique et de Cytogénétique, INRA, Jouy en Josas; Institut de l'Élevage, Villiers Bocage (França).

Al tutor Dr. Enrique Querol del Departament de Bioquímica i Biologia molecular de la Universitat autònoma de Barcelona.

Al Comissionat per a Universitats i Recerca per la concessió de la beca per a l'estada de recerca al *Department of Animal Product Quality* del *Research Centre Foulum* del *Danish Institute of Agricultural Sciences (Ministry of Food, Agriculture and Fisheries)* a Foulum (Dinamarca).

Al Dr. Poul Henckel, Ivan Nielsen, Dr. Anders H. Karlsson, Dr. Niels Oksbjerg, Dr. Henrik J. Andersen, Dr. Hans Busk, Katja, Pia, Margrethe, Rene, Henrik, Deng Yue Lin, Hanne, Niels i, a tota la gent del *Department of Animal Product Quality* del *Research Centre Foulum* pel bon acolliment, la seva ajuda, amabilitat i simpatia.

A en Pathak, l'Anders, en Peter, en Paul, els nombrosos ocupants ocasionals de la *House C* i de les altres cases del Nørresø Kollegiet a Viborg, i a en Jordi Figueras per les sortides de cap de setmana, malgrat el mal temps, i la introducció ràpida al "món" danès.

Als "Teixons de Corts", als amics de la "penya biòloga de Girona": Bertu i Helena, Buixi i Mònica, Berta i Cassi, Albert i Eli, Natàlia i Cani, Marta i Mario i, als "vailets i vailetes" de la "Komuna Kemal".

A la Isabel Masdemont per la correcció del manuscrit (espero no haver-me deixat gaires faltes!).

I finalment, molt especialment, a tota la meva família, pares, Toti i Esther, per la vostra paciència i suport; i a la Sònia, pels viatges i cims que ens queden per fer!

Moltes gràcies a tots!

RESUM

L'objectiu principal d'aquest estudi ha estat la caracterització de la raça bovina Bruna dels Pirineus per tal de conèixer, per una banda, la variabilitat de la raça en relació a la qualitat de la canal, la qualitat de la carn i les característiques bioquímiques del múscul *longissimus thoracis* (LT), i, per l'altra, l'estudi de les seves relacions amb les variables de l'anàlisi sensorial, a fi de poder avaluar objectivament el potencial d'aquesta raça.

A més a més, també s'ha estudiat l'efecte raça-sistema de producció sobre el color i les característiques bioquímiques del múscul LT en set races autòctones espanyoles de vacum de carn: Asturiana de los Valles (**AV**), Asturiana de la Montaña (**AM**), Pirenaica (**PI**), Bruna dels Pirineus (**BP**), Avileña-Negra Ibérica (**A-NI**), Morucha (**MO**) i Retinta (**RE**).

Un total de 74 vedells mascles de la raça Bruna dels Pirineus (provinents de 22 ramaders i engreixats al llarg dels anys 1996-98) van ser deslletats als 7 mesos de mitjana d'edat i amb un pes mitjà de 268 kg. L'alimentació del període d'engreix (171 dies de mitjana) va ser *ad libitum*, amb una dieta exclusivament vegetal, a base de pinso concentrat i suplementada amb farratge. El pes viu de sacrifici dels animals fou de $541,3 \pm 29,6$ kg, amb una edat mitjana de $380,6 \pm 34,4$ dies. El guany mitjà de pes diari durant l'engreix va ser $1,63 \pm 0,23$ kg·d⁻¹. El pes canal fou de $329 \pm 21,2$ kg, amb un rendiment canal en calent del 60,7% i un índex de compacitat de la canal de $2,6$ kg·cm⁻¹. Les canals presentaren una bona conformació, 11,2 (corresponent a una U) i un contingut de greix moderat, amb un 2,4% de greix pelvià i renal i un grau d'engreixament de 6,7 (3-). A partir de la dissecció de la sisena costella, amb una àrea de l'LT de $50,5$ cm², es van determinar uns continguts de magre del $68,2 \pm 3,5\%$; un $12,7 \pm 2,1\%$ de greix total dissecable, repartit entre el greix subcutani (3,0%) i el greix intermuscular (9,7%), i un 16,3% d'os.

Pel que fa a la qualitat de la carn, el pH últim de l'LT va ser normal ($pH_U = 5,56$) i, en relació al color, els valors de lluminositat (L^*) i d' a^* foren de 36,0 i 21,3, respectivament. El múscul LT va presentar una capacitat de retenció d'aigua (pèrdues de líquid per pressió) del 21,0% i unes pèrdues en la cocció del 22,9%.

Quant a la composició química del múscul LT, els continguts d'humitat i proteïna foren del 74,60% i 21,70%, respectivament, mentre que el percentatge de greix intramuscular va ser del 2,43%, amb valors des del 0,95 fins al 5,70%, indicant una gran variabilitat ($CV = 33\%$). El contingut de pigments hemo fou de 148 µg hematina àcida · g múscul⁻¹. En les anàlisis del teixit connectiu es van trobar uns continguts de col·lagen total de $3,14$ mg·g múscul⁻¹, col·lagen insoluble d' $1,86$ mg·g⁻¹ i un 40% de col·lagen soluble.

En l'estudi de les característiques bioquímiques de l'LT es van determinar una activitat lactat deshidrogenasa (LDH) de $1.171 \pm 146 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1} \cdot \text{g m}\ddot{\text{u}}\text{scl}^{-1}$ (CV= 12,5%) i una isocitrat deshidrogenasa (ICDH) de $1.642 \pm 393 \text{nmol}\cdot\text{min}^{-1} \cdot \text{g m}\ddot{\text{u}}\text{scl}^{-1}$ (CV= 23,9%), amb una ràtio LDH:ICDH de $0,76 \mu\text{mol}\cdot\text{nmol}^{-1}$. El percentatge de fibres tipus I, estimat mitjançant la quantificació de la isoforma MHC I de la cadena pesant de la miosina lenta, va ser del $27,9 \pm 8,9\%$, mostrant una gran variació (CV=31,9%).

El percentatge de greix total de la sisena costella va presentar correlacions negatives amb la humitat, l'àrea i el diàmetre dorsiventral de l'LT i positives amb els percentatges de greix intramuscular i de miosina MHC I. L'àrea de l'LT va presentar una correlació positiva amb l'activitat LDH i negativa amb el percentatge de miosina MHC I, la qual cosa indica una tendència dels músculs amb una àrea més gran a presentar unes característiques més glicolítiques. Les pèrdues de líquid per pressió es van mostrar correlacionades negativament amb l'activitat oxidativa ICDH i positivament amb la ràtio LDH:ICDH. Aquestes relacions indiquen una tendència dels músculs més glicolítics a presentar una menor capacitat de retenció d'aigua. En el mateix sentit, les correlacions negatives del pH_U amb l'activitat LDH i la ràtio LDH:ICDH corroborarien també aquestes observacions, ja que els músculs amb valors de pH últim més baixos presenten una menor capacitat de retenció d'aigua.

Els atributs que es van avaluar en l'anàlisi sensorial de les mostres de llom (14 dies de maduració) foren els següents: olor de vedella, olor de fetge, flavor de vedella, flavor de fetge, tendresa i sucositat. Les variables que van afectar positivament l'olor i el flavor de vedella de la carn de la Bruna dels Pirineus van ser el percentatge de greix intramuscular i el grau d'engreixament de la canal, la qual cosa confirma la importància dels lípids en les característiques d'aroma i flavor de la carn en les diferents espècies animals. La intensitat de flavor de fetge va ser més elevada en el múscul LT dels vedells amb una qualitat de la canal inferior i una major proporció de fibres tipus I. Les variables sensorials tendresa i sucositat no es van veure afectades per les característiques bioquímiques del múscul LT, però sí, i negativament, per les pèrdues en la cocció. Això indica que aquests atributs es troben influïts per altres factors *ante i post mortem* que caldria tenir en compte per a propers estudis.

L'estudi de l'efecte raça-sistema de producció sobre les mesures de color i les característiques bioquímiques del múscul *longissimus thoracis* per a set races bovines autòctones espanyoles es va realitzar amb un total de 478 vedells mascles repartits de la manera següent: 70 de l'AV, 70 de l'AM, 55 de la PI (només 27 animals per a les característiques bioquímiques musculars), 74 de la BP, 71 de l'A-NI, 70 de la MO i 68 de la RE. Els vedells es van criar amb les mares en sistema extensiu fins a l'inici del període d'engreix (entre 5 i 7 mesos), el qual va consistir en una alimentació *ad libitum* i d'acord amb el sistema de producció característic de cada raça. Les dietes van ser exclusivament

d'origen vegetal, amb uns continguts de proteïna bruta i uns nivells energètics elevats (13,8-16% i 0,9-1,04 UFC·kg⁻¹, respectivament). La mitjana d'edat de sacrifici de les diferents races va oscil·lar entre els 363 i els 541 dies, mentre que el pes canal es va moure entre els 250 i 334,5 kg.

S'observà un efecte significatiu del raça-sistema de producció en el color i les característiques bioquímiques del múscul LT. En base al color (L*, a*) i al contingut de pigments hemo de l'LT, l'anàlisi canònica discriminant va separar les races en dos grups: l'Asturiana de los Valles, la Pirenaica i l'Avileña-Negra Ibérica –amb una carn més clara i menor contingut de pigments– de l'Asturiana de las Montañas, la Morucha i la Retinta –més fosques i vermelles i amb un major contingut de pigments–, mentre que la Bruna dels Pirineus va mostrar valors intermedis. A més, la Retinta i l'Avileña-Negra Ibérica es van distingir de la resta de races pel percentatge de greix intramuscular. Les variables bioquímiques i de color de l'LT estudiades van permetre classificar correctament, mitjançant l'anàlisi discriminant, el 62% dels animals dins el seu raça-sistema de producció. Les races Bruna dels Pirineus i Avileña-Negra Ibérica –amb unes característiques bioquímiques i de color del múscul intermèdies– presentaren els percentatges més baixos de classificació en el seu propi grup racial, mentre que la raça Pirenaica fou la que es classificà correctament en un major percentatge.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio ha sido la caracterización de la raza bovina Bruna dels Pirineus para conocer la variabilidad de la raza en relación a la calidad de la canal, la calidad de la carne y las características bioquímicas del músculo *longissimus thoracis* (LT), así como el estudio de sus relaciones con las variables del análisis sensorial, con el fin de poder evaluar objetivamente el potencial de esta raza.

Por otra parte, también se estudió el efecto raza-sistema de producción sobre el color y las características bioquímicas del músculo LT en siete razas autóctonas españolas de vacuno de carne: Asturiana de los Valles (**AV**), Asturiana de la Montaña (**AM**), Pirenaica (**PI**), Bruna dels Pirineus (**BP**), Avileña-Negra Ibérica (**A-NI**), Morucha (**MO**) y Retinta (**RE**).

Un total de 74 terneros machos de la raza Bruna dels Pirineus (procedentes de 22 ganaderías y cuyo engorde se realizó durante los años 1996-98) fueron destetados a los 7 meses de edad y con un peso medio de 268 kg. La alimentación del período de engorde (171 días de media) fue *ad libitum*, con una dieta exclusivamente vegetal, a base de pienso concentrado y suplementada con forraje. El peso vivo de sacrificio de los animales fue de $541,3 \pm 29,6$ kg., con una edad media de $380,6 \pm 34,4$ días. La ganancia media diaria durante el engorde fue de $1,63 \pm 0,23$ kg·d⁻¹. El peso canal fue de $329 \pm 21,2$ kg., con un rendimiento canal caliente del 60,7% y un índice de compacidad de la canal de $2,6$ kg·cm⁻¹. Las canales presentaron una buena conformación, 11,2 (equivalente a una U) y un contenido de grasa moderado, con un 2,4% de grasa pélvico-renal y un grado de engrasamiento de 6,7 (3-). A partir de la disección de la sexta costilla, con una área del LT de $50,5$ cm², se determinaron unos porcentajes de magro del $68,2 \pm 3,5\%$, un $12,7 \pm 2,1\%$ de grasa total, repartida entre la grasa subcutánea (3,0%) y la grasa intermuscular (9,7%) y, un 16,3% de hueso.

En cuanto a la calidad de la carne, el pH último del LT fue normal (pH_U = 5,56) y se obtuvieron unos valores de luminosidad (L*) de 36,0 y una a* de 21,3. El músculo LT presentó una capacidad de retención de agua (pérdidas de líquido por presión) del 21,0% y unas pérdidas por cocinado del 22,9%.

En el análisis de la composición química del músculo LT se encontraron unos contenidos de humedad y proteína de 74,60% y 21,70% respectivamente, mientras que el porcentaje de grasa intramuscular fue del 2,43%, con valores entre 0,95 hasta 5,70%, indicando una gran variabilidad (CV= 33%). El contenido de pigmentos hemo fue de 148 µg hematina ácida · g músculo⁻¹. Las características del tejido conectivo del músculo fueron: $3,14$ mg·g músculo⁻¹ de colágeno total, $1,86$ mg·g⁻¹ de colágeno insoluble y un 40% de colágeno soluble.

En el estudio de las características bioquímicas del LT se determinaron unas actividades lactato deshidrogenasa (LDH) de $1.171 \pm 146 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1} \cdot \text{g m\acute{u}s\text{c}\text{u}\text{l}\text{o}}^{-1}$ (CV= 12,5%) e isocitrato deshidrogenasa (ICDH) de $1.642 \pm 393 \text{nmol}\cdot\text{min}^{-1} \cdot \text{g m\acute{u}s\text{c}\text{u}\text{l}\text{o}}^{-1}$ (CV= 23,9%), con una ratio LDH:ICDH de $0,76 \mu\text{mol}\cdot\text{nmol}^{-1}$. El porcentaje de fibras tipo I, estimado mediante la cuantificación de la isoforma MHC I de la cadena pesada de la miosina lenta, fue del $27,9 \pm 8,9\%$, mostrando también una gran variación (CV=31,9%).

El porcentaje de grasa total de la sexta costilla presentó correlaciones negativas con la humedad, el área y el diámetro dorsoventral del LT y positivas con los porcentajes de grasa intramuscular y de miosina MHC I. El área del LT se correlacionó positivamente con la actividad LDH y negativamente con el porcentaje de miosina MHC I, lo cual indica una tendencia de los músculos con una área mayor a presentar unas características glicolíticas más acusadas. Las pérdidas de líquido por presión se correlacionaron negativamente con la actividad oxidativa ICDH y positivamente con la ratio LDH:ICDH. Estas relaciones indican una tendencia de los músculos más glicolíticos a presentar una menor capacidad de retención de agua. En el mismo sentido, las correlaciones negativas del pH_U con la actividad LDH y la ratio LDH:ICDH corroborarían también estas observaciones, ya que los músculos con valores de pH último inferiores presentan una menor capacidad de retención de agua.

Los atributos que se evaluaron en el análisis sensorial de las muestras de lomo (14 días de maduración) fueron los siguientes: olor a ternera, olor a hígado, flavor a ternera, flavor a hígado, terneza y jugosidad. Las variables que afectaron positivamente el olor y el flavor a ternera de la carne de la Bruna dels Pirineus fueron el porcentaje de grasa intramuscular y el grado de engrasamiento de la canal, lo cual confirma la importancia de los lípidos en las características de aroma y flavor de la carne en las distintas especies animales. La intensidad de flavor a hígado fue más elevada en el músculo LT de los terneros con una calidad de la canal inferior y un mayor porcentaje de fibras tipo I. Las variables sensoriales terneza y jugosidad no se vieron afectadas por las características bioquímicas del músculo LT, pero sí, y de manera negativa, por las pérdidas por cocinado. Eso indica que dichos atributos se ven afectados por otros factores *ante y post mortem* que habría que tener en cuenta en futuros trabajos.

El estudio del efecto raza-sistema de producción sobre las medidas de color y las características bioquímicas del músculo *longissimus thoracis* en siete razas bovinas autóctonas españolas se llevó a cabo con un total de 478 terneros machos repartidos de la siguiente manera: 70 de la AV, 70 de la AM, 55 de la PI (de ellos, sólo en 27 animales se analizaron las características bioquímicas musculares), 74 de la BP, 71 de la A-NI, 70 de la MO y 68 de la RE. Los terneros se criaron con sus madres en sistema extensivo hasta el inicio del período de engorde (entre 5 y 7 meses), el cual se llevó a cabo con una alimentación *ad libitum* y conforme al sistema de producción característico de cada raza.

Las dietas fueron de origen vegetal exclusivamente y con unos contenidos de proteína bruta y unos niveles energéticos elevados (13,8-16% y 0,9-1,04 UFC·kg.⁻¹, respectivamente). La media de edad en el sacrificio de las diferentes razas varió entre los 363 y los 541 días, mientras que el peso canal estuvo entre los 250 y 334,5 kg.

Se observó un efecto significativo de la raza-sistema de producción en el color y las características bioquímicas del músculo LT. En base al color (L^* , a^*) y al contenido de pigmentos hemo del LT, el análisis canónico discriminante permitió separar las razas en dos grupos: la Asturiana de los Valles, la Pirenaica y la Avileña-Negra Ibérica –con una carne más clara y un menor contenido de pigmentos– de la Asturiana de las Montañas, la Morucha y la Retinta –carnes más oscuras y rojas y con un mayor contenido de pigmentos–, mientras que la Bruna dels Pirineus mostró valores intermedios. Paralelamente, la Retinta y la Avileña-Negra Ibérica se separaron del resto por el porcentaje de grasa intramuscular. Las variables bioquímicas y de color del LT estudiadas permitieron clasificar correctamente, mediante el análisis discriminante, el 62% de los animales dentro de su raza-sistema de producción. Las razas Bruna dels Pirineus y Avileña-Negra Ibérica –con unas características bioquímicas y de color del músculo intermedias– presentaron los porcentajes de clasificación más bajos en su propio grupo racial, mientras que la raza Pirenaica fue la que se clasificó correctamente en mayor porcentaje.

SUMMARY

The main objective of this study was the characterisation of the Bruna dels Pirineus cattle breed in relation to carcass quality, meat quality and *longissimus thoracis* (LT) biochemical characteristics variability, and furthermore, to examine their relationships with the sensory analysis variables, in order to evaluate the potential of this breed.

Additionally, the effect of the breed-production system on the colour and the biochemical characteristics of LT muscle in seven local Spanish beef cattle breeds: Asturiana de los Valles (**AV**), Asturiana de la Montaña (**AM**), Pirenaica (**PI**), Bruna dels Pirineus (**BP**), Avileña-Negra Ibérica (**A-NI**), Morucha (**MO**) and Retinta (**RE**), was studied.

A total of 74 young bulls of the Bruna dels Pirineus Breed (from 22 herds and reared along 1996-98) were used. Calves were weaned at about 7 months old, with an average weaning-weight of 286 kg, and fed *ad libitum* with an exclusively vegetal diet (concentrate and supplemented with hay) during 171 days, on average. Live weight at sacrifice was 541.3 ± 29.6 kg, with an average age of 380.6 ± 34.4 days. Average daily gain during the fattening period was 1.63 ± 0.23 kg·d⁻¹. Carcass weight was 329 ± 21.2 kg, with a killing-out percentage of 60.7% (hot carcass) and a carcass compactness index of 2.6 kg·cm⁻¹. Carcasses showed a good conformation score, 11.2 (U) and a moderate fat content with 2.4% kidney knob and channel fat and a fatness score of 6.7 (3-). Carcass composition was estimated from the sixth rib dissection obtaining a $68.2 \pm 3.5\%$ lean content, $12.7 \pm 2.1\%$ of total dissectable fat (3.0% subcutaneous fat and 9.7% intermuscular fat) and 16.3% bone – with an LT area of 50.5 cm².

Meat quality assessment showed an LT muscle with a normal ultimate pH ($\text{pH}_U = 5.56$), a lightness value (L^*) of 36.0 and an a^* value of 21.3. Muscle water-holding capacity, measured as expressible juice, was 21.0% and cooking losses were 22.9%.

LT chemical composition was: 74.60% moisture, 21.70% protein and an intramuscular fat content of 2.43%, ranging from 0.95 to 5.70%, showing a high variability (CV= 33%). Haem pigment content was $148 \mu\text{g acid haematin} \cdot \text{g muscle}^{-1}$ and connective tissue characteristics were: $3.14 \text{ mg} \cdot \text{g muscle}^{-1}$ total collagen, $1.86 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ insoluble collagen and 40% collagen solubility.

The study of LT biochemical characteristics showed a lactate deshydrogenase (LDH) activity of $1,171 \pm 146 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g muscle}^{-1}$ (CV= 12.5%) and isocitrate deshydrogenase (ICDH) activity of $1,642 \pm 393 \text{ nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g muscle}^{-1}$ (CV= 23.9%), with a LDH:ICDH ratio of $0.76 \mu\text{mol} \cdot \text{nmol}^{-1}$. Type I (slow) fibres percentage, estimated through slow myosin heavy chain I (MHC I) isoform quantification, was $27.9 \pm 8.9\%$, also showing a high variability (CV=31.9%).

Total fat percentage (6th rib) showed negative correlations with moisture, LT area and LT dorsiventral diameter and was positively correlated with intramuscular fat and MHC I contents. LT area showed a positive correlation with LDH activity and a negative correlation with MHC I percentage. This shows a tendency in muscles with a bigger area to be more glycolytic. Expressible juice was negatively correlated with ICDH activity and, positively with LDH:ICDH ratio. These relations indicate a tendency in more glycolytic muscles to show a lower water-holding capacity. In addition, ultimate pH was negatively correlated with LDH activity and LDH:ICDH ratio, corroborating these observations since muscles with lower ultimate pH values show lower water-holding capacity.

Sensory analysis included beef and livery odour intensity, beef and livery flavour intensity, tenderness and juiciness assessment of loin samples (with 14 days ageing period). Beef odour and flavour intensity were positively affected by intramuscular fat content and carcass fatness score, confirming the important role played by lipids in meat aroma and flavour in the different species. Livery flavour intensity was higher in LT muscles from young bulls with lower carcass quality and higher type I fibre percentage. Total fat percentage (6th rib), MHC I, insoluble collagen and cooking losses positively affected the livery flavour intensity. Meat tenderness and juiciness were not affected by biochemical characteristics, however, they were negatively affected by cooking losses. This suggests that these attributes are influenced by other *ante* and *post mortem* factors which should be considered in future studies.

The effect of the breed-production system on the colour variables and the biochemical characteristics of *longissimus thoracis* in seven Spanish local beef breeds was studied (478 young bulls): 70 from Asturiana de los Valles (AV), 70 from Asturiana de la Montaña (AM), 55 from Pirenaica (PI, biochemical characteristics were studied in only 27 animals), 74 from Bruna dels Pirineus (BP), 71 from Avileña-Negra Ibérica (A-NI), 70 from Morucha (MO) and 68 from Retinta (RE). Calves were reared in an extensive regime together with their mothers and started fattening at about 5 to 7 months old. They were fed a breed-specific diet *ad libitum*. The ingredients always had a vegetable origin. The common characteristic is that both crude protein and energy levels were fairly high (crude protein between 13,8-16 %; energy (UFC/kg), 0.9-1.04). Age at slaughter was between 363 and 541 days; and carcass weight between 250 and 334.5 kg.

Significant differences between breed-production systems were found for all the traits evaluated. Breeds were separated, through canonical discriminant analysis, in two groups according to LT colour (L^* , a^*) and haem pigment content: the first one included Asturiana de los Valles, Pirenaica and Avileña-Negra Ibérica, which showed a paler meat and lower haem pigment content; and the second one, Asturiana de las Montañas, Morucha and Retinta, which showed the darkest and reddest meat together with a higher

haem pigment content; –whereas Bruna dels Pirineus showed intermediate values. Moreover, the Retinta and Avileña-Negra Ibérica breeds were distinguished from the others by their high intramuscular fat content. Biochemical and colour variables allowed to correctly classify, through discriminant analysis, 62 % of the animals into their own breed-production system. Bruna dels Pirineus and Avileña-Negra Ibérica breeds, with intermediate biochemical and colour characteristics, showed the lowest classification percentages into their own breed-production system, whereas Pirenaica was the breed with the highest classification percentage.

ÍNDEX

Índex de Figures.....	xix
Índex de Taules	xx
Abreviatures utilitzades	xxiii
PUBLICACIONS	xxvii
PRÒLEG	xxix

1. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

1.1. INTRODUCCIÓ	3
1.1.1. El sector del vacum de carn.....	3
1.1.1.1. La Denominació de Qualitat Vedella dels Pirineus Catalans.....	6
1.1.2. La raça de bestiar boví Bruna dels Pirineus	6
1.1.3. Altres races bovines autòctones.....	8
1.2. CARACTERÍSTIQUES PRODUCTIVES	10
El caràcter <i>double-musclèd</i>	11
1.3. QUALITAT DE LA CANAL: FACTORS DE VARIACIÓ	12
1.3.1. Pes canal i rendiment	12
1.3.2. Conformació i classificació	13
1.3.3. Variació de la composició de la canal.....	14
1.4. EL MÚSCUL ESQUELÈTIC: DESCRIPCIÓ	17
1.4.1. El teixit connectiu	17
1.4.2. Tipus de músculs.....	19
1.4.3. La fibra muscular	20
1.4.3.1. La miosina	21
1.5. TIPUS DE FIBRES MUSCULARS: SISTEMES DE CLASSIFICACIÓ I METODOLOGIES	24
1.6. CARACTERITZACIÓ DE LES FIBRES MUSCULARS EN EL BESTIAR BOVÍ	28
1.6.1. La utilització d'anticossos	31

1.7. CARACTERÍSTIQUES DE QUALITAT DE LA CARN	34
1.7.1. La qualitat de la carn	34
1.7.2. Conversió del múscul en carn	34
1.7.2.1. Aparició del <i>rigor mortis</i>	35
1.7.2.2. Maduració de la carn	36
1.7.3. El pH i la capacitat de retenció d'aigua	37
1.7.3.1. Problemes de qualitat de la carn.....	39
1.7.4. El color de la carn.....	41
1.7.4.1. Els pigments musculars	41
1.7.4.2. Mesura del color	43
1.7.4.3. Factors de variació.....	45
1.7.5. El greix intramuscular	47
1.8. QUALITAT SENSORIAL DE LA CARN.....	50
1.8.1. Introducció a l'anàlisi sensorial	50
1.8.2. L'olor i el flavor	51
1.8.3. La tendresa i la sucositat	53
1.9. RELACIONS ENTRE LES FIBRES MUSCULARS I LA QUALITAT TECNOLÒGICA I SENSORIAL DE LA CARN.....	57
1.9.1. Les fibres musculars i la qualitat tecnològica de la carn.....	57
1.9.2. Les fibres musculars i la qualitat sensorial.....	59
2. OBJECTIUS.....	61
3. MATERIAL I MÈTODES	
3.1. MATERIAL ANIMAL I MANEIG	67
La raça Bruna dels Pirineus.....	67
Les races autòctones	68
3.2. CARACTERÍSTIQUES PRODUCTIVES	68
3.3. CARACTERÍSTIQUES DE QUALITAT DE LA CANAL.....	69
Pes canal, rendiment i greix pelvià i renal	69
3.3.1. Mesures morfològiques de la canal.....	69
Longitud de la canal.....	70
Profunditat interna del pit.....	70

Longitud del pernil	71
Diàmetre màxim del pernil	71
Índex de compacitat de la canal i compacitat del pernil.....	71
3.3.2. Classificació de la canal.....	71
Conformació de la canal.....	71
Engreixament de la canal	73
3.3.3. Dissecció de la sisena costella.....	75
3.3.4. Mesura de l'àrea del llom	76
3.4. MESURES DE LA QUALITAT DE LA CARN.....	77
3.4.1. El pH muscular.....	77
3.4.2. Color del múscul LT i del greix subcutani.....	77
3.4.3. Capacitat de retenció d'aigua i humitat.....	78
3.4.4. Composició química del múscul <i>longissimus thoracis</i>	79
3.4.4.1. El greix intramuscular total	79
3.4.4.2. Contingut de proteïna.....	79
3.4.4.3. Els pigments hemo totals.....	80
3.4.4.4. Col·lagen total, col·lagen insoluble i col·lagen soluble	81
3.5. CARACTERÍSTIQUES BIOQUÍMIQUES DEL MÚSCUL	
<i>LONGISSIMUS THORACIS</i>	82
3.5.1. Determinació del percentatge de miosina MHC I (fibres musculars tipus I) mitjançant el mètode d'ELISA.....	82
3.5.1.1. Preparació dels extrems de múscul.....	83
3.5.1.2. Determinació de la concentració de proteïna dels extrems mitjançant el mètode de Bradford	83
3.5.1.3. Assaig ELISA.....	84
1. Preparació de la corba estàndard d'MHC I.....	84
2. Fixació de l'antigen.....	84
3. Fixació del primer anticòs.....	85
4. Fixació del segon anticòs	85
5. Revelatge i lectura de la placa de microtitulació.....	86
3.5.2. Determinació de les activitats enzimàtiques lactat deshidrogenasa i isocitrat deshidrogenasa	86
3.5.2.1. Preparació dels extrems de múscul i determinació de la concentració de proteïna.....	87
3.5.2.2. Mesura de les activitats LDH i ICDH	87
Activitat lactat deshidrogenasa	87
Activitat isocitrat deshidrogenasa.....	88

3.6. ANÀLISI SENSORIAL DE LES MOSTRES DEL <i>LONGISSIMUS THORACIS</i> DE LA RAÇA BRUNA DELS PIRINEUS.....	89
3.6.1. Entrenament del grup de panelistes	89
3.6.2. Elaboració del perfil sensorial de la carn de vedella	89
3.6.3. Preparació i anàlisi de les mostres	91
3.7. ANÀLISIS ESTADÍSTIQUES	94

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

<u>CAPÍTOL I:</u> CARACTERITZACIÓ DE LA RAÇA BRUNA DELS PIRINEUS: QUALITAT DE LA CANAL I DE LA CARN.....	99
4.1.1. Característiques productives	101
4.1.2. La qualitat de la canal.....	102
4.1.3. La qualitat de la carn	108
4.1.4. Característiques bioquímiques del múscul <i>longissimus thoracis</i>	112
4.1.5. Avaluació sensorial del múscul <i>longissimus thoracis</i>	117

<u>CAPÍTOL II:</u> RELACIONS ENTRE VARIABLES EN LA RAÇA BRUNA DELS PIRINEUS.....	119
4.2.1. Relacions entre les variables de característiques productives i de qualitat de la canal	121
4.2.2. Relacions entre les variables de qualitat de la carn i les característiques bioquímiques del múscul <i>longissimus thoracis</i>	127
4.2.3. Relacions entre les variables de dissecció de la sisena costella, la morfologia i les característiques bioquímiques del múscul <i>longissimus thoracis</i>	133
4.2.4. Relacions amb els atributs de l'anàlisi sensorial	134

<u>CAPÍTOL III:</u> EFECTE DEL RAÇA-SISTEMA DE PRODUCCIÓ SOBRE EL COLOR I LES CARACTERÍSTIQUES BIOQUÍMIQUES DEL MÚSCUL <i>LONGISSIMUS THORACIS</i> EN SET RACES BOVINES AUTÒCTONES.....	137
4.3.1. Efecte del raça-sistema de producció sobre el color i les característiques bioquímiques del <i>longissimus thoracis</i>	139

4.3.2. Relacions entre el color i les característiques bioquímiques del <i>longissimus thoracis</i> per cada raça-sistema de producció.....	144
4.3.3. Relacions entre els set raça-sistemes de producció segons les característiques bioquímiques i les variables de color.....	148
5. CONCLUSIONS.....	155
6. BIBLIOGRAFIA	159

Índex de Figures

1. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

- Figura 1.1** Canvis en l'estat redox de l'àtom de ferro de la mioglobina.....42
- Figura 1.2** Espai de color CIE $L^*a^*b^*$ i coordenades cilíndriques C^* i H°44

3. MATERIAL I MÈTODES

- Figura 3.1** Punts anatòmics de referència en les mesures de morfologia de la canal.....70
- Figura 3.2** Patró comunitari de classificació per a l'avaluació de la conformació de les canals de vacum pesant (cinc classes: E, U, R, O, P).....72
- Figura 3.3** Patró comunitari de classificació per a l'avaluació del grau d'engreixament de les canals de vacum pesant (cinc classes: 1, 2, 3, 4, 5).....74
- Figura 3.4** Punts de mesura de la morfologia del múscul longissimus thoracis.....76
- Figura 3.5** Esquema del tallat del filet per a l'obtenció de les mostres per a l'avaluació sensorial.....92
- Figura 3.6** Full d'avaluació sensorial de les mostres de carn de vedella (Projecte FAIR1_CT95_0702).....92

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

- Figura 4.1** Anàlisi de components principals per a les variables de característiques productives i de qualitat de la canal de la raça Bruna dels Pirineus..... 126
- Figura 4.2** Anàlisi de components principals per a les variables de qualitat de la carn i característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis..... 132
- Figura 4.3** Anàlisi canònica discriminant dels set raça-sistemes de producció en base a les característiques bioquímiques i el color del múscul longissimus thoracis: (A) eixos 1 i 2, (B) eixos 3 i 4 de l'estructura canònica total..... 150

Índex de Taules

1. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

<i>Taula 1.1</i>	<i>Nomenclatura utilitzada en els principals sistemes de classificació de les fibres musculars.....</i>	<i>27</i>
------------------	---	-----------

3. MATERIAL I MÈTODES

<i>Taula 3.1</i>	<i>Estructura de la mostra d'animals de la raça Bruna dels Pirineus.</i>	<i>67</i>
<i>Taula 3.2</i>	<i>Composició del pinso d'engreixament dels vedells.</i>	<i>67</i>
<i>Taula 3.3</i>	<i>Sistema de classificació comunitari (cinc classes: E,U,R,O,P) i escala de puntuació utilitzada per a l'avaluació de la conformació de la canal de vacum pesant.....</i>	<i>73</i>
<i>Taula 3.4</i>	<i>Sistema de classificació comunitari (cinc classes: 1, 2, 3, 4, 5) i escala de puntuació utilitzada per a l'avaluació del grau d'engreixament de la canal de vacum pesant.</i>	<i>75</i>
<i>Taula 3.5</i>	<i>Disseny de l'anàlisi sensorial amb número de mostra avaluada per a cada panelista, sessió i raça.....</i>	<i>90</i>
<i>Taula 3.6</i>	<i>Ordre d'avaluació de les mostres per cada panelista, raça i sessió.</i>	<i>93</i>
<i>Taula 3.7</i>	<i>Exemple d'ordre d'avaluació de les mostres de cada animal per cada panelista en una sessió i per una mateixa raça.</i>	<i>94</i>

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

<i>Taula 4.1</i>	<i>Característiques productives dels vedells mascles de la raça Bruna dels Pirineus.....</i>	<i>101</i>
<i>Taula 4.2</i>	<i>Característiques de qualitat de la canal dels vedells mascles de la raça Bruna dels Pirineus.....</i>	<i>105</i>
<i>Taula 4.3</i>	<i>Dissecció de la sisena costella dels vedells de la raça Bruna dels Pirineus.</i>	<i>107</i>

Taula 4.4	<i>Característiques de qualitat de la carn del múscul longissimus thoracis i color del greix subcutani dels vedells de la raça Bruna dels Pirineus.</i>	111
Taula 4.5	<i>Composició química del múscul longissimus thoracis dels vedells de la raça Bruna dels Pirineus.</i>	113
Taula 4.6	<i>Característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis dels vedells de la raça Bruna dels Pirineus.</i>	115
Taula 4.7	<i>Correlacions entre els atributs sensorials de la raça Bruna dels Pirineus.</i>	117
Taula 4.8	<i>Correlacions entre les variables de característiques productives i de qualitat de la canal de la raça Bruna dels Pirineus.</i>	123
Taula 4.9	<i>Correlacions entre les variables de qualitat de la carn i característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis.</i>	129
Taula 4.10	<i>Correlacions entre les variables de dissecció de la sisena costella, la morfologia i les característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis.</i>	134
Taula 4.11	<i>Correlacions entre les variables d'anàlisi sensorial i les característiques de qualitat de la canal, qualitat de la carn i bioquímiques del longissimus thoracis.</i>	135
Taula 4.12	<i>Efecte del raça-sistema de producció sobre el color i les característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis.</i>	143
Taula 4.13	<i>Correlacions entre edat de sacrifici i pes canal amb el color i les característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis per als set raça-sistemes de producció.</i>	144
Taula 4.14	<i>Correlacions entre el greix intramuscular i els pigments hemo amb el color i les característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis per als set raça-sistemes de producció.</i>	146
Taula 4.15	<i>Correlacions entre les característiques bioquímiques i el color del múscul longissimus thoracis per als set raça-sistemes de producció.</i>	147
Taula 4.16	<i>Anàlisi canònica discriminant: distàncies quadrades de Mahalanobis entre les mitjanes dels set raça-sistemes de producció.</i>	149

Taula 4.17 *Anàlisi discriminant per raça-sistema de producció, amb nombre d'observacions (n) i percentatge d'animals classificats dintre cada raça-sistema, i estimació del percentatge d'error total, a partir de les variables de color i de característiques bioquímiques del múscul longissimus thoracis..... 152*

Abreviatures utilitzades

%	percentatge
λ	longitud d'ona
α -R	fibra muscular α -vermella, de contracció ràpida i oxidativa-glicolítica
α -W	fibra muscular α -blanca, de contracció ràpida i glicolítica
μ g	microgram
μ mol	micromol
a*	component vermella del color CIE L*a*b*
ACP	anàlisi de components principals
ADP	àcid adenosina-difosfòric
AM	Asturiana de la Montaña
A-NI	Avileña-Negra Ibérica
ATP	àcid adenosina-trifosfòric
ATPasa	adenosinatrifosfatasa
AV	Asturiana de los Valles
b*	component groga del color CIE L*a*b*
BF	múscul <i>biceps femoris</i>
BP	Bruna dels Pirineus
BSA	(<i>Bovine serum albumin</i>) albúmina de sèrum boví
C	il·luminant estàndard de la <i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
C*	croma: intensitat o saturació del color
CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
CIELAB	espai de color CIE L*a*b*
cm	centímetre
COLINS	col·lagen insoluble
COLSOL	percentatge de col·lagen soluble
COLTOT	col·lagen total
CP	component principal
CRA	capacitat de retenció d'aigua
CS	citrat sintasa
CT	múscul <i>cutaneus trunci</i>
CV	coeficient de variació
d	dia
D ₆₅	il·luminant estàndard de la <i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
DE	Denominació Específica
DE	desviació estàndard
DFD	(<i>dark, firm & dry</i>) fosca, dura i eixuta
DMPER	diàmetre màxim del pernil

DO	densitat òptica o absorbància
DPO	Denominació Protegida d'Origen
DQ	Denominació de Qualitat
DTT	ditiotreitol
DVENT	diàmetre màxim dorsiventral del múscul <i>longissimus thoracis</i>
EDTA	àcid etilendiamintetraacètic (sal sòdica)
EEB	encefalopatia espongiforme bovina
ELISA	<i>enzyme-linked immunosorbent assay</i>
ENG	engreixament de la canal
<i>et al.</i>	i col·laboradors
FG	(<i>fast twitch glycolytic</i>) múscul o fibra muscular de contracció ràpida i metabolisme glicolític
FOG	(<i>fast twitch oxidative-glycolytic</i>) múscul o fibra muscular de contracció ràpida i metabolisme oxidatiu-glicolític
g	gram
g	unitat d'acceleració ($\approx 9,8 \text{ m s}^{-2}$)
gly	glicina
GMD	guany mitjà de pes diari
GPR	percentatge de greix pelvià i renal
GRIN	percentatge de greix intramuscular
GTOT	percentatge de greix total de la dissecció de la sisena costella
h	hora
HMM	(<i>heavy meromyosin</i>) meromiosina pesant
H°	angle Hue (de l'anglès <i>hue</i>), to del color
hyp	hidroxiprolina
I	fibra muscular de contracció lenta i oxidativa
ICCAN	índex de compacitat de la canal
ICDH	isocitrat deshidrogenasa
ICPER	índex de compacitat del pernil
IGP	Indicació Geogràfica Protegida
II	fibra muscular de contracció ràpida
IIA	fibra muscular de contracció ràpida i oxidativa-glicolítica
IIB	fibra muscular de contracció ràpida i glicolítica
IIC	fibra muscular intermitja entre I i IIA
kg	kilogram
L*	lluminositat o claredat del color CIE L*a*b*
LC	(<i>light chain</i>) cadena lleugera
LCAN	longitud de la canal
LD	múscul <i>longissimus dorsi</i>

LDH	lactat deshidrogenasa
LL	múscul <i>longissimus lumborum</i>
LMM	(<i>light meromyosin</i>) meromiosina lleugera
LPER	longitud del pernil
LT	múscul <i>longissimus thoracis</i>
M	múscul <i>masseter</i>
mATPasa	adenosinatrifosfatasa miofibril·lar
Màx.	valor màxim
Mb	mioglobina
MbO ₂	oximioglobina
MHC I	isoforma I de la cadena pesant de la miosina
MHC	(<i>myosin heavy chain</i>) cadena pesant de la miosina
min	minut
Mín.	valor mínim
MLAT	diàmetre màxim mediolateral del múscul <i>longissimus thoracis</i>
MLC	(<i>myosin light chain</i>) cadena lleugera de la miosina
mm	mil·límetre
MMb	metamioglobina
MO	Morucha
<i>MQ</i>	Marques de Qualitat
n	nombre d'observacions
NAD	nicotinamida-adenina-dinucleòtid
NADPH	nicotinamida-adenina-dinucleòtid-fosfat
nm	nanòmetre
nmol	nanomol
<i>P</i>	probabilitat
p.	pàgina
PA	Parda Alpina
PCAN	pes canal calenta
pH _U	pH últim a les 24 hores <i>post mortem</i>
pH _{U7d}	pH últim als 7 dies <i>post mortem</i>
PI	Pirenaica
PLP	pèrdues de líquid per pressió
<i>pm</i>	<i>post mortem</i>
pro	prolina
PSE	(<i>pale, soft & exudative</i>) pà·l·lida, tova i exsudativa
PVIU	pes viu de sacrifici
r	coeficient de correlació de Pearson
RE	Retinta

ref.	referència
RG	Rubia Gallega
rpm	revolucions per minut
RT	rendiment canal
s	segon
SDH	succinat deshidrogenasa
SO	(<i>slow twitch oxidative</i>) múscul o fibra muscular de contracció lenta i metabolisme oxidatiu
β-R	fibra muscular β-vermella, de contracció lenta i oxidativa
ST	múscul <i>semitendinosus</i>
tan ⁻¹	arctangent
TB	múscul <i>triceps brachii</i>
Temp.	temperatura
Tris	Tris (hidroximetil)-aminometà
ua	unitat d'absorbància
uma	unitat de massa atòmica
UE	Unió Europea
UFC	unitat farratgera de carn
v/v	volum/volum
vs.	versus

PUBLICACIONES

Revistes:

GIL, M., SERRA, X., GISPERT, M., OLIVER, M.A., SAÑUDO, C., PANEA, B., OLLETA, J.L., CAMPO, M.M., OLIVÁN, M., OSORO, K., GARCÍA-CACHÁN, M.D., CRUZ-SAGREDO, R., IZQUIERDO, M., ESPEJO, M., MARTÍN, M., PIEDRAFITA, J. (2001). The effect of breed-production systems on the myosin heavy chain I, the biochemical characteristics and the colour variables of *longissimus thoracis* from seven spanish beef cattle breeds. *Meat science*, **58**, 181-188.

Comunicacions a congressos:

GIL, M., SERRA, X., OLIVER, M.A., SAÑUDO, C., OLLETA, J.L., GARCÍA-CACHÁN, M.D., OLIVÁN, M.C., LOPEZ-PARRA, M.M., QUINTANILLA, R., PIEDRAFITA, J. (2000). Fiber type (Myosin Heavy Chain I) and biochemical traits of *Longissimus thoracis* from three European beef breed types. *ADSA & ASAS Annual Meeting. J. Anim. Sci. Vol. 78, Suppl. 1/ J. Dairy Sci. Vol. 83, Suppl. 1/ 2000*, p.162(688). Baltimore, United States.

PIEDRAFITA, J., QUINTANILLA, R., SAÑUDO, C., OLLETA, J.L., CAMPO, M.M., PANEA, B., OLIVER, M.A., SERRA, X., GARCÍA-CACHÁN, M.D., CRUZ-SAGREDO, R., OSORO, K., OLIVÁN, M.C., ESPEJO, M., IZQUIERDO, M. (1999). Carcass variability in seven spanish beef breeds. *Proceedings of the 50th EAAP*. Zurich, Switzerland.

SERRA, X., PIEDRAFITA, J., QUINTANILLA, R., GISPERT, M., OLIVER, M.A. (1999). Características de calidad de la canal y composición química del músculo *Longissimus thoracis* de la raza Bruna dels Pirineus. Resultados preliminares. *VII Jornadas sobre producción animal – ITEA*. **20** (I), 35-37. Zaragoza, España.

CAMPO, M.M., SAÑUDO, C., GUERRERO, L., SERRA, X., PANEA, B., OLLETA, J.L., PIEDRAFITA, J. (1999). Variabilidad intra-racial en el análisis sensorial de 7 razas-sistemas de producción españoles. *VII Jornadas sobre producción animal – ITEA*. **20** (I), 83-85. Zaragoza, España.

GIL, M., SERRA, X., PIEDRAFITA, J., QUINTANILLA, R., OLIVER, M.A. (1998). Fiber characterization of muscle *Longissimus thoracis* from *Bruna dels Pirineus* cattle breed. *Proceedings of the 44th ICoMST*. p. 704-705. Barcelona, Spain.

PRÒLEG

Aquesta tesi s'emmarca en els objectius específics d) i e) del projecte europeu (FAIR1_CT95_0702): “*Characterization and assessment of genetic aptitudes of european local beef cattle breeds for producing quality meat*” d’una durada de tres anys (1996-1999).

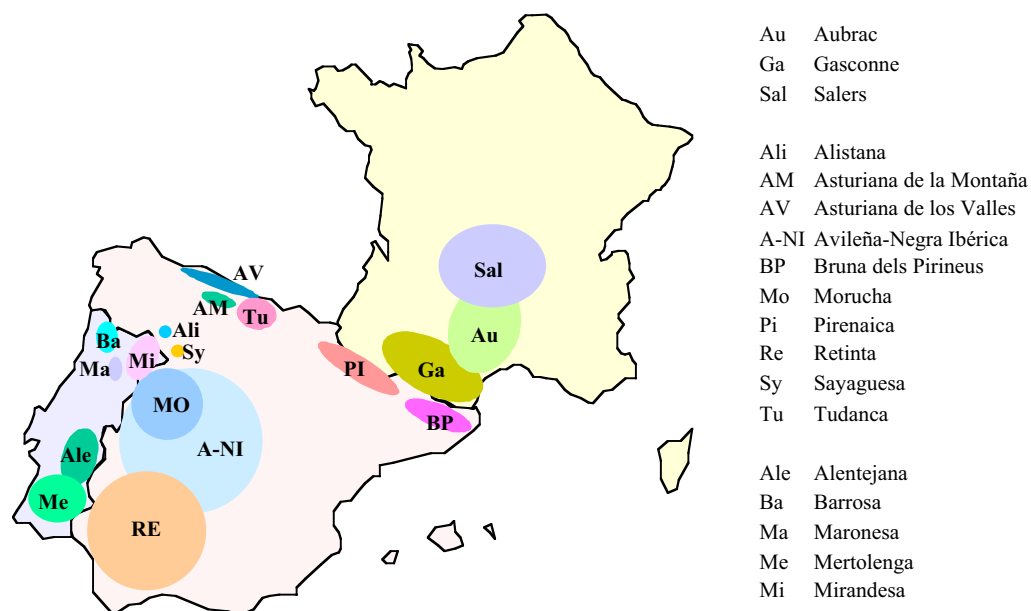
L’objectiu general del projecte ha estat el d’avaluar la diversitat genètica de diverses races autòctones de bestiar boví de carn de França, Espanya i Portugal, així com també la seva capacitat per a produir carn de qualitat en condicions extensives.

Els objectius específics s’han concretat en:

- a) descriure els sistemes de producció de diverses races de vacum de carn de França i la Península Ibèrica i avaluar la importància econòmica de les característiques biològiques implicades.
- b) investigar l’estructura genètica d’aquestes poblacions a partir dels llibres genealògics i mostreigs aleatoris.
- c) descriure la diversitat genètica mitjançant marcadors genètics (microsatèl·lits) per tal d’implementar programes de conservació i/o millora genètica.
- d) avaluar les característiques productives i de qualitat de la canal i de la carn d’aquestes races.**
- e) estudiar les relacions entre les mesures objectives de qualitat de la carn i els resultats de l’anàlisi sensorial (panel de degustadors).**

Es pot trobar més informació del projecte a la següent adreça d’internet:
http://quiro.uab.es/fair1_ct95_0702/.

Les races participants en el projecte foren: Aubrac, Gasconne i Salers de França; Alistana, Asturiana de los Valles, Asturiana de la Montaña, Avileña, Bruna dels Pirineus, Morucha, Pirenaica, Retinta, Sayaguesa i Tudanca d'Espanya; i Alentejana, Barrosa, Maronesa, Mertolenga i Mirandesa de Portugal.



Els centres de recerca que hi van prendre part foren els següents:

UAB (Coordinació)	Departament de Patologia i de Producció Animals Facultat de Veterinària Universitat Autònoma de Barcelona (Espanya)
INRA-SGQA	INRA-Station de Génétique Quantitative et Appliquée Centre de Recherches de Jouy-en-Josas Jouy-en-Josas (França)
INRA-LGBC	INRA-Laboratoire de Génétique Biochimique et Cytogénétique Centre de Recherches de Jouy-en-Josas Jouy-en-Josas (França)
IE	Institut de l'Élevage Villiers Bocage (França)
UCM	Departamento de Producción Animal Facultad de Veterinaria Universidad Complutense de Madrid (Espanya)

UNIZAR	Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos Facultad de Veterinaria Universidad de Zaragoza (Espanya)
IRTA-CTC	Centre de Tecnologia de la Carn IRTA, Monells, Girona (Espanya)
ETC	Estación Tecnológica de la Carne Junta de Castilla y León Guijuelo, Salamanca (Espanya)
SIAEX	Junta de Extremadura Dirección General de Producción, Investigación y Formación Agrarias Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico Badajoz (Espanya)
IEADR	Instituto Nacional de Investigaçã Agrária Direcção de Serviços de Produção e Melhoramento Pecuário Lisboa (Portugal)
ICETA	Centro de Estudos em Ciência Animal Universidade do Porto (Portugal)

1. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

1.1. INTRODUCCIÓ

1.1.1. El sector del vacum de carn

El sector del vacum a la Unió Europea (UE-15), segons les estimacions de 1999, té un cens total de l'ordre de 83,9 milions de caps de bestiar, amb 33 milions de vaques, dels quals 21 milions són vaques lleteres i els 12 milions restants corresponen a vaques per a la producció càrnia (nodrisses). França encapçala el grup de països amb major nombre de vaques de producció càrnia, amb més de 4,1 milions de caps, seguida del Regne Unit (1,9 M), Espanya (1,7 M) i Irlanda (1,2 M). No obstant això, la producció actual de carn de vacum a la UE-15, estimada en uns 7,56 milions de tones, es distribueix de manera diferent, ja que els principals països productors són França, Alemanya, Itàlia i el Regne Unit (Cárnica 2000, 2000). La presència d'Alemanya i Itàlia entre els principals productors és degut, principalment, a una important producció de vedells provinents de vaques lleteres i a la importació de vedells vius per a l'engreix, respectivament. La producció de vacum de carn a Espanya s'ha mantingut en un cicle ascendent des de 1994 (fins al 2000), malgrat la davallada generalitzada en l'entorn de la Unió Europea, on es manté un creixement global negatiu.

El consum de carn de vacum a la UE durant els darrers 15 anys ha presentat una disminució progressiva. D'entre les diverses causes s'hi troben l'encariment relatiu de la carn de vacum respecte d'altres carns (porc i pollastre), els canvis en els costums alimentaris, la preocupació creixent pels temes de salut (diets lleugeres) i, de manera especial, la temàtica sobre la seguretat alimentària (Aguado i González de Chávarri, 1997).

La imatge de la carn de vedella s'ha vist perjudicada pels casos d'ús de substàncies prohibides en l'alimentació i l'engreix del bestiar. Sens dubte, però, el fet més important, amb un gran impacte en l'opinió pública i clarament negatiu per als interessos del sector, fou l'anunci del govern britànic, l'any 1996, que l'encefalopatia espongiiforme bovina (EEB o *BSE: bovine spongiform encephalopathy*), coneguda popularment com a la malaltia de les vaques boges, es podia transmetre a l'home com a una nova variant de la malaltia de Creutzfeldt-Jakob. D'aleshores ençà s'han diagnosticat més de 80 casos de persones malaltes a la Gran Bretanya.

L'EEB fou diagnosticada per primera vegada al Regne Unit en vacum de llet l'any 1986. La causa de la malaltia es trobaria en els pinsos utilitzats en l'alimentació de les vaques, els quals incloïen despulles animals, concretament de bestiar oví infectat amb

l'*scrapie*, una encefalopatia espongiforme que afecta els xais i coneguda ja des de fa molts anys (Cann, 1993).

Com a resultat d'aquests fets, es va decretar l'embargament de la carn de vedella britànica a la UE, així com també el sacrifici i destrucció d'un elevat nombre d'animals de la cabana britànica. S'establí, també, als Estats membres de la UE, l'obligació de retirar de la cadena alimentària, tant humana com animal (farines de carn), els Materials Específics de Risc (MER), els quals inclouen el crani (amb el cervell), la melsa, els intestins, la medul·la espinal i altres restes de teixit nerviós, i últimament també l'os de l'espina en animals majors de 12 mesos.

Malgrat les mesures adoptades, la crisi en el sector s'ha mantingut, amb algunes petites recuperacions puntuals, afectant negativament el consum de carn de vacum comunitari. Així doncs, d'aleshores ençà el sector del vacum de carn, a nivell europeu, està patint les conseqüències d'aquesta problemàtica, mentre la malaltia ja ha estat diagnosticada també en animals d'altres països com Irlanda, Suïssa, Portugal, França, Bèlgica, Alemanya, Espanya i Itàlia. Recentment, s'han fet públics els primers casos de la malaltia degenerativa en persones a França, fet que ha causat una gran alarma social i ha fet plantejar-se de nou nombrosos interrogants sobre l'alimentació dels animals i la seguretat alimentària del consumidor. D'ençà de la detecció dels primers animals malalts a Espanya, a finals del 2000, s'ha agreujat la crisi en el sector i, es preveu que serà de difícil superació a curt termini.

Des de fa alguns anys, per tal de pal·liar la crisi i recuperar la confiança del consumidor, s'han anat reforçant els sistemes de garantia de qualitat, de manera que permetin una major transparència en les condicions de producció i comercialització de la carn, donant lloc a les carns amb marca de qualitat (Aguado i González de Chávarri, 1997).

Els diferents instruments jurídics que s'utilitzen per a diferenciar els productes de qualitat són de dos tipus. D'una banda, hi ha les Marques de Qualitat (*MQ*), fonamentades en una sèrie de reglamentacions comunitàries (Normes 45.000 i Normes ISO), les quals estandarditzen i normalitzen el procés. Les *MQ* són conegudes a nivell europeu amb el nom d'etiquetes o distintius de qualitat que indiquen la conformitat del producte amb una norma d'elaboració, composició de matèries primeres, etc. El control és dut a terme per entitats independents.

L'altre tipus inclou les Indicacions Geogràfiques Protegides (*IGP*) i les Denominacions Protegides d'Origen (*DPO*) de carn de vacum de determinades races, molt lligades al lloc geogràfic d'origen, i en les quals s'utilitzen pràctiques i tècniques

productives perfectament adaptades als seus ecosistemes tradicionals i naturals. La UE va aprovar les *IGP* i les *DPO* (Reglament 2081/92) amb l'objectiu de promoure la millora i l'aprofitament dels valors afegits d'alguns productes alimentaris, alhora que contribuïa al desenvolupament rural i a la diversificació de la producció agrària (Purroy *et al.*, 1997).

El sistema d'identificació individual del bestiar i el registre centralitzat de les dades a cada Estat membre, aprovats per la UE el març del 1997, i aplicable a tots els animals de l'espècie bovina nascuts a partir de gener del 1998, suposa un reglament bàsic per al control epidemiològic, sanitari i fiscal del bestiar boví. Això, juntament amb el Reglament Europeu per a l'etiquetatge obligatori de totes les carns de vacum (d'aplicació obligatòria a partir de l'1 de setembre del 2000), garanteixen al consumidor la possibilitat de poder conèixer l'origen d'allò que compra. Amb aquestes normatives es pretén arribar al seguiment o "traçabilitat" total dels animals des del seu origen fins al consum de la seva carn, tot oferint les garanties i la transparència necessàries als consumidors, per tal de recuperar la seva confiança i restablir-ne el consum.

A l'Estat Espanyol, la promoció de la producció de carn de qualitat ha donat lloc a nombroses denominacions amb un distintiu de qualitat. Alguns dels productes de carn fresca de vacum existents al mercat des de ja fa algun temps (emparats pel Reglament 2081/92) són la "Carne de Ávila" (*IGP*), la "Carne Morucha de Salamanca" (*IGP*) i la "Tertera Gallega" (*IGP*).

A nivell de les Comunitats Autònomes existeixen també nombrosos productes regulats, ja sigui mitjançant Denominació Específica (*DE*) –com per exemple la "Carne de Ávila", la "Tertera de Extremadura", la "Carne Montañas del Teleno" i la "Carne de Morucha de Salamanca"– o amb Denominació de Qualitat (*DQ*) –la "Carne de Asturias", la "Carne de Cantabria", la "Carne de Raza Asturiana", la "Carne de la Sierra de Guadarrama", la "Kalitateko Euskal Okela" (Carn de Vacum d'Euskadi), la "Tertera de Navarra" i, a Catalunya, la "Vedella dels Pirineus Catalans" i la "Vedella de Girona"–. L'evolució en la producció i la comercialització d'aquestes carns amb denominació, en els darrers anys, ha estat, en general, positiva.

Paral·lelament, han sorgit també diferents iniciatives que han portat a la creació de nombroses marques de qualitat mitjançant societats i grups d'alimentació, com per exemple, el grup EROSKI amb el segell «Saboree lo natural», o dintre les mateixes *DQ*, en el cas de la Vedella de Girona amb la marca «Vedella Bencriada», o bé com el Programa CLARA (*Carne Libre de Aditivos Regulada y Avalada*), que és una iniciativa de control de qualitat de la carn de vacum d'àmbit estatal impulsada per Intervac (*Confederación Interprofesional Española del Vacuno*) i que forma part del logotip de

carn de vacum de qualitat europea EQB (*European Quality Beef*). Aquest es caracteritza per un control exhaustiu de la qualitat de la carn alhora que permet realitzar-ne la “traçabilitat”, des de la carn etiquetada en el punt de venda fins a l’animal de procedència i el seu origen (Purroy *et al.*, 1997).

1.1.1.1. La Denominació de Qualitat Vedella dels Pirineus Catalans

Races i àmbit de producció

La Denominació de Qualitat Vedella dels Pirineus Catalans (*DQ, Reglament Ordre 21-12-1994; DOGC 18-01-1995*) empara la producció de carn de vacum de vedells de la raça Bruna dels Pirineus i altres races d’aptitud càrnia, així com els seus encreuaments. L’àmbit de producció comprèn totes les comarques pirinenques i prepirinenques: Alt Empordà, Alta Ribagorça, Alt Urgell, Berguedà, Cerdanya, Garrotxa, Pallars Jussà, Pallars Sobirà, Ripollès, Solsonès i la Val d’Aran.

Característiques de producció

Les vaques i vedells es crien en règim extensiu o semiextensiu, on l’alimentació de base són les pastures. Les cries creixen a l’aire lliure i s’alimenten de la llet de les seves mares i l’herba de les pastures durant un mínim de quatre mesos. El període d’engreix es fa a les mateixes explotacions a base de farratges, cereals i lleguminoses. No s’utilitzen ni greixos ni farines d’origen animal. El sacrifici dels animals es realitza en escorxadors autoritzats pel Consell Regulador i s’identifiquen les canals, i la carn es comercialitza acompanyada d’un certificat que garanteix tot el procés i on figura el logotip de “Vedella dels Pirineus Catalans”.

1.1.2. La raça de bestiar boví Bruna dels Pirineus

La família dels bòvids inclou més de 110 espècies que habiten en tota mena de medis: sabanes, desert, tundra, bosquines, àrees muntanyoses i selva. El gènere *Bos* hauria donat lloc, a partir de l’ur (*Bos primigenius*), al bestiar boví (*Bos taurus*) i el zebú (*Bos indicus*), els quals s’entrecreuen perfectament i donen híbrids fèrtils.

Hom pot definir el concepte de raça com al conjunt d’individus que tenen una ascendència comuna i es diferencien de la resta d’individus de la seva espècie per la

frequència més gran de determinats grups de caràcters hereditaris. Normalment, es parla de raça per referir-se a la població d'individus prou homogenis genèticament com per a poder distingir-los de la resta d'animals o d'altres grups de l'espècie. Aquesta relació genètica s'observa fenotípicament mitjançant unes característiques morfològiques i productives similars, les quals, però, també es veuen afectades per les condicions ambientals.

La denominació de raça Bruna dels Pirineus fa referència a una població de bestiar boví localitzada a les comarques dels Pirineus i Prepirineus catalans. El seu origen es trobaria en antics encreuaments de la vaca autòctona de les comarques pirinenques catalanes (probablement algun ecotipus de la raça Pirenaica) amb poblacions d'animals de la raça *Brown Swiss* (*Brune des Alpes* en francès, *Bruna Alpina* en italià i *Braunvieh* en alemany) de doble aptitud, importades de Suïssa a principis de segle (DARP, 1993). Aquestes donaren origen a la raça Bruna dels Pirineus, coneguda també com la *Parda Alpina*. El seu nom té l'origen en el color del seu pelatge bru i la zona geogràfica on es troba, els Pirineus, si bé en el cas de la denominació en castellà: *Parda Alpina*, és evident la referència a l'antiga zona geogràfica originària de la raça, la zona dels Alps. La distribució de la Bruna o *Parda Alpina* a la península Ibèrica es localitza, principalment, a les zones muntanyoses de la zona Cantàbrica i des de la Meseta fins als Pirineus.

Segons l'estudi de Jordana *et al.* (1991), en el qual separen les races d'acord amb l'anàlisi qualitativa i quantitativa de les seves característiques morfològiques, la Bruna dels Pirineus queda classificada dins el tronc Turdetà, juntament amb les races Palmera, Rubia Gallega, Pirenaica i Blanca Cacereña, podent ésser els descendents de l'anomenat *Bos taurus turdetanus*. Els altres dos troncs que distingeixen són: el tronc Ibèric, el qual inclou la Morucha i l'Avileña, entre d'altres; i el tronc Càntabre, que inclou l'Asturiana de la Montaña, l'Asturiana de los Valles i l'Albera (autòctona de l'Empordà), per citar-ne algunes.

La Bruna dels Pirineus és una raça de proporcions harmòniques, format mitjà i perfil rectilini. El seu pelatge és de color bru (marronós-gris fosc) amb diferents tonalitats uniformes i amb degradacions del color al nivell dels ulls, morro, aixella, braguer, ventre, cara interna de les extremitats i perineu. La pell és rosada o bruna, les mucoses rosades i el musell negre. És una raça rústica, de precocitat mitjana, molt ben adaptada a les zones de muntanya, amb gran resistència i facilitat d'adaptació a diferents climes. Presenta unes característiques molt importants per als sistemes d'explotació de muntanya, com són el fàcil maneig, l'elevada fertilitat, la facilitat de part i excel·lent aptitud maternal. La seva llarga vida productiva (arribant a superar els 15 anys) permet disminuir l'índex de reposició, amb la qual cosa augmenta la rendibilitat del ramat (DARP, 1993).

Originàriament, la Bruna dels Pirineus seria una raça d'aptitud mixta: lletera i càrnia (doble aptitud), molt adient per a les zones de muntanya amb pastures estivals. Actualment, la seva explotació es realitza en règim semiextensiu i orientada cap a la producció càrnia. A finals de primavera i principis d'estiu els animals pugen a les pastures de muntanya, on romanen fins a la tardor, quan baixen als prats de les valls. Durant l'hivern passen a un règim de semiestabulació i reben una alimentació suplementada amb fenc o altres cultius farratgers. Els vedells romanen amb les mares entre sis i nou mesos d'edat i passen posteriorment al sistema d'engreix.

La raça presenta una gran uniformitat genètica, deguda principalment a l'existència d'un intercanvi genètic entre les diferents poblacions, amb un flux constant de reproductors (Jordana i Piedrafita, 1993). Pel que fa a la distribució geogràfica, les comarques amb un cens més important de la vaca Bruna dels Pirineus són les comarques pirinenques del Pallars Sobirà, el Pallars Jussà i, en menor quantitat, l'Alta Ribagorça i la Vall d'Aran. Altres comarques amb un cens important són el Ripollès, el Berguedà, Osona i alguns ramats al Maresme i el Solsonès. La Federació de la Vaca Bruna dels Pirineus (FEBRUPI) agrupa una part important dels ramaders de la raça.

1.1.3. Altres races bovines autòctones

L'evolució i la selecció de les races bovines autòctones peninsulars ha potenciat la rusticitat d'aquestes races, fent-les més resistents a les malalties pròpies de cada zona, capacitant-les per aguantar els períodes de llargues sequeres o de freds intensos i adaptant-les per aprofitar uns recursos que moltes vegades no utilitzarien les altres races introduïdes. Així doncs, el concepte de rusticitat d'una raça fa referència a animals molt ben adaptats al medi, que aprofiten molt bé els recursos naturals existents en els sistemes tradicionals extensius, ja siguin en zones muntanyoses humides o bé en zones de deveses més àrides. Són animals frugals, de requeriments alimentaris baixos o moderats, amb capacitat d'estalvi de les reserves corporals en èpoques d'escassetat, molt resistents i adaptats als desplaçaments per terrenys difícils de muntanya o amb poca aigua. També en destaquen com a característiques la precocitat sexual, una llarga vida productiva, la facilitat de part i una bona aptitud maternal. Aquestes races s'emmarquen perfectament en el que seria una ramaderia sostenible i, si bé en molts casos tenen uns nivells de producció mitjans-baixos, alhora presenten també un manteniment molt econòmic (Ibáñez i Mas, 1997).

Entre les races autòctones peninsulars amb un major nombre de caps de bestiar i de més importància econòmica es troben: la Rubia Gallega, l'Asturiana de la Montaña, l'Asturiana de los Valles, la Tudanca, la Pirenaica, l'Avileña-Negra Ibérica, la Morucha, la raça de Lidia i la Retinta.

Asturiana de los Valles: ocupa les terres menys muntanyoses del centre i sud-oest del Principat d'Astúries. És una raça molt apta per a la producció càrnia i la seva selecció s'orienta cap als animals portadors del caràcter *culón* o *double-muscled* (hipertrofia muscular). Els animals que presenten aquesta característica tenen un gran desenvolupament muscular (amb major o menor grau segons sigui en homozigosi o en heterozigosi), especialment del terç posterior, la qual cosa fa que presentin un major rendiment comercial que els animals normals. La raça està inclosa dins la DQ "Carne de Asturias de Calidad Controlada".

Asturiana de la Montaña: és una raça rústica pròpia d'àrees muntanyoses del centre i sud-est del Principat d'Astúries. En destaquen la longevitat i la facilitat de part, amb unes bones aptituds lletera i maternal. Aquesta raça també es pot comercialitzar dins la DQ "Carne de Asturias de Calidad Controlada".

Pirenaica: és una raça rústica que es troba distribuïda pel vessant sud dels Pirineus, des del nord de Navarra fins al nord de Lleida i Girona. Està molt ben adaptada per a l'aprofitament de les pastures de l'alta muntanya i presenta una bona aptitud càrnia. És la principal raça de la DQ "Ternera de Navarra".

Avileña-Negra Ibérica: és el bestiar autòcton negre, propi de les serres del centre peninsular i originari de les antigues vaques Serranes. Es tracta d'una raça rústica molt adaptable i ocupa una gran diversitat de terrenys. Forma part de la DQ "Carne de la Sierra de Guadarrama" i, en exclusiva, de la DE "Carne de Ávila".

Morucha: és una raça amb una rusticitat màxima que es localitza a les àrees de deveses fredes, amb un gran nombre de caps a la província de Salamanca. Té unes bones qualitats reproductores i és molt resistent a la climatologia adversa. Abasteix la DE "Carne de Morucha de Salamanca".

Retinta: és una raça autòctona del sud i sud-oest peninsular, molt ben adaptada a les deveses seques i càlides. Presenta facilitat de part i una bona aptitud maternal i lletera. Forma part de la Marca de Qualitat "Carne de Retinto".

1.2. CARACTERÍSTIQUES PRODUCTIVES

En la producció de carn, el creixement i el desenvolupament de l'animal són dos conceptes molt importants econòmicament, ja que d'ells depèn la qualitat de la canal obtinguda. El creixement fa referència a l'evolució quantitativa de l'organisme i correspon a l'increment global de pes viu de l'animal per unitat de temps ($\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$). La mesura del creixement en pes en relació a un període de temps és el que es coneix com a guany mitjà diari (GMD) (Jimeno i Callejo, 1997).

El desenvolupament, anomenat també creixement diferencial, representa l'evolució qualitativa de l'organisme, des del fetus fins a l'adult. Mitjançant aquest creixement diferencial, en què els diferents teixits, òrgans i funcions presenten uns ritmes de creixement propis, l'animal experimenta unes modificacions en la conformació, la composició química i l'edat d'entrada a la pubertat o a la maduresa. La composició del cos de l'animal canvia amb el creixement i la maduresa. Després del naixement, els músculs creixen més ràpid que els ossos, incrementant-se la relació múscul:os. El greix corporal creix lentament al principi, però durant el període d'engreix aquest creixement s'accentua molt (Kempster *et al.*, 1982b). Així, a mesura que augmenta l'edat de l'animal, el teixit adipós és cada vegada més important.

L'edat i el grau de maduresa al sacrifici dels animals afecta la variació observada en les característiques de la canal. Factors com la raça, el genotip, el sexe i l'alimentació són importants a l'hora d'explicar les diferències en la precocitat dels animals, la qual va lligada a la tendència a dipositar teixit gras. Els vedells per a la producció càrnia es poden classificar en tres categories segons la seva tendència a dipositar teixit gras (Jimeno i Callejo, 1997):

Animals precoços: animals de races lleteres (Frisona), algunes races càrnies com la Hereford i l'Angus i els mascles castrats.

Animals de precocitat mitjana: corresponen a races autòctones rústiques i poc seleccionades (Avileña, Bruna dels Pirineus, Morucha, Retinta).

Animals tardans: són els vedells procedents de races càrnies amb un gran desenvolupament muscular i poc engreixament (Asturiana de los Valles, Charolais, Llemosina, Pirenaica, Rubia Gallega).

Les races amb uns genotips més precoços tendeixen a un major grau d'engreixament, per la qual cosa el període d'engreix ha d'ésser inferior i amb una dieta

menys energètica que en les races tardanes, per tal d'obtenir un nivell d'engreixament més d'acord amb la demanda del mercat (Jimeno i Callejo, 1997). Quant al sexe, les vedelles generalment presenten un GMD més baix que els vedells, alhora que maduren a uns pesos inferiors (són més precoces), presentant un desenvolupament del teixit adipós més ràpid que els mascles castrats i els mascles enters. Mitjançant l'alimentació es pot modificar el GMD i la composició de la canal, ja que amb dietes energèticament elevades la deposició de greix augmenta (Kempster *et al.*, 1982b).

Albertí *et al.* (1997) van estudiar les característiques productives de diverses races autòctones engreixades sota les mateixes condicions intensives. Les races amb majors GMD foren la Parda Alpina (PA; Bruna dels Pirineus), la Pirenaica (PI), ambdues amb $1,7 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$, i la Rubia Gallega (RG, $1,6 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$), seguides de les races Retinta (RE), Asturiana de los Valles (AV) i Avileña-Negra Ibérica (A-NI), amb un creixement intermedi ($1,5$ a $1,4 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$) i, en darrer terme, la Morucha (MO), que no va arribar als $1,3 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Observaren com les races d'aptitud càrnia (PI i RG) i de doble aptitud (PA) eren les que presentaren els majors GMD. Els vedells de l'AV (de gran aptitud càrnia) amb el caràcter *culón* (*double-musclèd*) presenten un potencial de creixement mitjà (Cañón *et al.*, 1996), la qual cosa explica que el seu GMD fos del mateix ordre que el de les races rústiques.

El caràcter *double-musclèd*

El bestiar amb el caràcter *double-musclèd* o *culón*, conegut també per hipertròfia muscular, presenten un desenvolupament muscular exagerat de caràcter hereditari, especialment aparent en el terç posterior. La mida més gran dels seus músculs vindria explicada pel fet que presenten un major nombre de fibres musculars (hiperplàsia de les fibres musculars), conjuntament amb increments variables dels diàmetres de les fibres (hipertròfia radial de les fibres) (Swatland, 1994a). Els seus músculs tenen un major contingut de fibres glicolítiques (Tatum *et al.*, 1990; Wegner *et al.*, 1997).

Els animals heterozigots presenten un fenotip que varia des del normal fins a un desenvolupament muscular extrem (Swatland, 1994a). És un caràcter genètic amb una considerable freqüència en determinades races com, per exemple, la Blau Blanc Belga (Uytterhaegen *et al.*, 1994), l'Asturiana de los Valles (Albertí *et al.*, 1998; Oliván *et al.*, 1999, 2001) i la Piemontesa (Destefanis *et al.*, 1996; Tatum *et al.*, 1990), en les quals s'ha orientat la selecció per tal d'obtenir millors rendiments carnis (major rendiment, millor conformació i percentatges de magre).

1.3. QUALITAT DE LA CANAL: FACTORS DE VARIACIÓ

D'una manera general, la canal de vacuum es defineix com el cos de l'animal sacrificat, una vegada aquest ha estat dessagnat, escorxat, eviscerat, i se li ha tallat el cap (al nivell de l'articulació occipitoatloidea) i la part distal de les extremitats (al nivell de les articulacions carpometacarpiana i tarsometatarsiana), conservant, però, tot el greix de cobertura, la cua, els pilars i la porció perifèrica carnosa del diafragma, els testicles, el greix pelvià i renal i els ronyons (Sañudo i Campo, 1997). No obstant això, la canal pot presentar variacions comercials, sobretot pel que fa a la inclusió o no dels testicles, el greix pelvià i renal, els ronyons i retalls de greix.

La mitja canal correspon a cadascuna de les parts resultants de seccionar la canal seguint el pla de simetria que passa al llarg de la línia mitjana del raquis (columna vertebral) i pel centre de l'estèrnum i la sínfisi púbica, sense medul·la espinal i restant la cua a la mitja canal esquerra.

Pel que fa a la qualitat de la canal i el seu valor comercial, els aspectes més importants són el pes, la conformació i la composició (Sañudo i Campo, 1997). Aquesta darrera és la més important, ja que les característiques ideals d'una canal són: un elevat percentatge de múscul, una quantitat adient de greix infiltrat (segons els gustos del mercat), la quantitat mínima d'os i poc greix de cobertura per tal de minimitzar les pèrdues en l'especejament.

1.3.1. Pes canal i rendiment

El pes de la canal és un factor objectiu que comprèn el pes de les dues mitges canals, pesades a la mateixa cadena de sacrifici, després d'haver rentat la canal i abans d'una hora des del dessagnat de l'animal (canal calenta). El pes canal és un paràmetre que es pot modificar per adequar-lo a la demanda del mercat i contribueix de manera molt important en els altres criteris de qualitat de la canal, tant en la conformació com en la composició, ja que és un valuós indicador de la quantitat de múscul de la canal. No obstant això, en valors relatius, un augment del pes canal suposa un increment percentual del teixit adipós i una disminució del teixit ossi, mentre que el múscul es manté més o menys estable. Tant el pes com la mida de la canal tenen una gran importància pel que fa a la quantitat dels diferents teixits (composició tissular), així com per a la grandària de les peces i dels músculs que se n'obtenen, aspectes importants per al detallista i el consumidor (Kempster *et al.*, 1982a).

El rendiment de la canal és la relació percentual entre el pes canal i el pes viu en el sacrifici. És un paràmetre important a l'hora de predir la productivitat càrnia dels vedells. Això no obstant, sempre cal considerar la manera com s'obtenen les mesures dels pesos (viu i canal), ja que hi ha variacions en les definicions de pes viu (granja/ escorxador, en/ sense dejú) i de canal (calenta/ freda, amb/ sense retalls).

1.3.2. Conformació i classificació

La conformació fa referència a la morfologia de la canal, és la forma de la canal avaluada per un observador per tal de predir-ne la quantitat de carn. De Boer *et al.* (1974) la defineixen com el gruix de carn i de greix subcutani en relació a les dimensions de l'esquelet. La conformació depèn del desenvolupament muscular i la seva forma, així com també de l'estructura òssia i dels acúmuls de greix intermuscular i subcutani. És una característica important en la valoració comercial de la canal ja que una bona conformació té una valoració econòmica millor. Els principals factors de variació són el genotip, el pes, l'engreixament, la fase de desenvolupament de l'animal i el sexe (Sañudo i Campo, 1997).

La classificació de les canals de vacum està recollida en el Reglaments 1208/81, 2930/81, 1026/91 i 2237/91 de la Unió Europea i al BOE (2-4-82 i 5-6-94), i es porta a terme en base a l'avaluació visual de la conformació i el grau d'engreixament (vegeu l'apartat 3.3.2., p. 70). L'avaluació de la conformació té en compte el grau de desenvolupament dels perfils (còncaus o convexos) i la musculatura de la canal en general i, particularment, de la cuixa, del llom i del quart del davant. Les canals es classifiquen en 6 classes: S, E, U, R, O, P (de millor a pitjor conformació, amb la S reservada per als animals extremadament musculats). Pel que fa al grau d'engreixament, s'avalua la quantitat de greix de cobertura (interna i externa), així com també la seva distribució i se'n distingeixen 5 classes: 1, 2, 3, 4, 5 (de poc grassa a molt grassa). A nivell d'escorxador es distingeixen quatre categories comercials de vacum basades en l'edat (Quetglas i Frau, 1989; Sañudo i Campo, 1997):

Vedella: animal mascle o femella amb tota la dentició de llet i amb pesos canal compresos entre els 100 i 180 kg.

Vacum jove: animal mascle o femella amb dos incisius permanents com a màxim (2 anys).

Anoll: animals d'ambdós sexes amb una peça dentària de llet com a mínim (màxim 5 anys).

Vacum major: animals d'ambdós sexes amb tots els incisius permanents (més de 5 anys).

Segons criteris d'edat i pes dels animals sacrificats, la producció de carn de vacum a la CEE es divideix en dos grans grups: Vacum pesant (*Gros bovins*) i Vedella (*Veau*). El vacum pesant correspon a la producció d'animals amb un pes viu de sacrifici superior als 300 kg, mentre que la producció de vedella comprèn les canals dels animals menors d'un any, amb un pes viu de sacrifici inferior als 300 kg (Quetglas i Frau, 1989).

1.3.3. Variació de la composició de la canal

Pel que fa a la composició de la canal, hom pot fer referència a la composició regional, basada en l'espejament i les diferents categories comercials de carn que en resulten (extra, primera, segona, tercera), o bé a la composició tissular, que correspon als diferents tipus de teixits i que normalment s'agrupen en tres components: múscul, greix i os. La proporció de múscul o magre i la seva distribució en la canal són molt importants ja que n'afecten molt directament el rendiment i el valor comercial. La quantitat de magre és alhora un criteri molt estès entre els consumidors, tant des del punt de vista de la qualitat com de l'econòmic.

La manera més precisa per avaluar la composició tissular és mitjançant la dissecció de la canal. No obstant això, aquest és un mètode que només s'utilitza en estudis molt concrets, a causa, principalment, del seu cost elevat, tant econòmic com de temps. Per tot això, s'utilitzen mètodes que permeten fer-ne una estimació indirecta, mitjançant la dissecció d'una zona de les costelles (Robelin *et al.*, 1974; Robelin i Geay, 1975a, 1975b). Segons l'estudi d'Oliván *et al.* (2001), la dissecció de la sisena costella permet obtenir una millor predicció de la composició de la canal que amb la desena costella, ja que aquesta darrera tendeix a donar una sobreestimació del percentatge de greix de la canal. Al mateix temps, l'extracció de la sisena costella suposa un procediment més fàcil i d'un menor cost econòmic, ja que la zona de tall coincideix amb el quarteig comercial de la canal.

La composició tissular dependrà del creixement diferencial dels diferents teixits. En augmentar l'edat i el pes de l'animal, el percentatge de greix també augmenta proporcionalment, mentre que el percentatge d'os disminueix i el de múscul es manté bastant constant. Entre canals de pes similar, el percentatge de cada teixit varia considerablement i depèn de la raça i de la velocitat de creixement. El percentatge de

greix és el que presenta major variabilitat i és, per tant, el que condiciona la proporció relativa dels altres dos teixits. Així, la variació en la proporció de múscul es veu clarament molt més afectada per la variació en el grau d'engreixament de la canal que no pas per la variació en la conformació (Sañudo i Campo, 1997).

En el teixit adipós es poden distingir quatre tipus diferents de dipòsits o localitzacions de greix: el greix intern (principalment pelvià i renal), el greix intermuscular, el greix subcutani o de cobertura i el greix intramuscular (Kempster *et al.*, 1982a). Aquest darrer és el més important pel que fa a la qualitat sensorial de la carn i presenta una deposició proporcionalment més tardana (Sañudo i Campo, 1997). La mesura del greix pelvià i renal (expressat en percentatge respecte al pes canal) aporta una informació addicional pel que fa a la composició de la canal i relativa al seu grau d'engreixament (Kempster *et al.*, 1982b).

La qualitat de la canal es veu afectada per nombrosos factors, des de l'edat de l'animal, directament relacionada amb el pes i el creixement diferencial dels teixits, el sexe (amb diferències en la precocitat o maduresa), fins a la raça i l'alimentació, així com també els additius i finalitzadors. La raça és molt important per al rendiment de la canal, depenent principalment de la precocitat i el desenvolupament muscular. Així, les variacions entre races depenen, en gran part, de si se sacrifiquen a un pes viu similar o bé si es fa a una mateixa edat, en què s'observen diferències considerables en els pesos canal. A un mateix pes viu les variacions en la composició tissular són importants. En les races tardanes i de major pes adult s'observa un major percentatge de múscul i menor contingut de greix. D'altra banda, per a una mateixa edat, les races més precoces presenten un major engreixament que les tardanes, mentre que les races de millor aptitud càrnia i major pes adult tindran unes canals més pesades, observant-se variacions en la composició de la canal (Sañudo i Campo, 1997).

Quant a l'efecte de l'alimentació sobre la qualitat de la canal, aquest dependrà del sistema de producció i del valor energètic de la dieta. La composició de la canal a un mateix pes o edat es veu afectada pel nivell de nutrició. Els animals amb un pla de nutrició elevat, amb dietes més energètiques, tendeixen a produir canals més engreixades, és a dir, amb menor percentatge de múscul i major percentatge de greix que els animals amb un pla de nutrició més baix (Kempster *et al.*, 1982b).

Martin *et al.* (1993a, 1993b) estudiaren la predicció de la composició de la canal de vedells de les races Rubia Gallega i Asturiana (amb *double-muscled*) d'entre 10 i 18 mesos d'edat a partir de la nota d'avaluació de la canal i de les mesures simples de la canal, respectivament. Martin *et al.* (1993a) observaren correlacions positives moderades

entre l'avaluació de la conformació i el percentatge total de carn de la canal (espejament comercial), si bé obtingueren una predicció amb poca precisió. Martin *et al.* (1993a) observaren també que la conformació estava altament correlacionada amb el rendiment i l'àrea de l'LT a l'onzena costella. Ambdues mesures, juntament amb el pes de la canal calenta i el greix pelvià i renal, foren les variables més ben relacionades amb la composició de la canal segons Martin *et al.* (1993b).

S'ha observat com les races rústiques (Retinta, Avileña-Negra Ibérica, Morucha) presenten uns valors molt més baixos de rendiment canal (54-58%) que les races càrnies Asturiana de los Valles, Pirenaica i Parda Alpina (58-62%), o que els animals amb el caràcter *culón (double-muscled)* de l'Asturiana de los Valles, amb valors del 64% (Albertí *et al.*, 1997; Barriada *et al.*, 1993; Campo, 1999; Piedrafita *et al.*, 1999) o superiors, com en la raça Blau Belga amb 67-68% (Hornick *et al.*, 1999). Segons Bocard (1981), els animals amb el caràcter *double-muscled* rendeixen fins a un 5% més que els animals de la mateixa raça, sexe i pes però sense aquesta condició.

L'efecte del sistema d'engreix (intensiu i semiintensiu) i del pes de sacrifici (baix, mitjà i elevat) fou estudiat per Barriada *et al.* (1993) en vedells de la raça Asturiana de los Valles. El sistema d'alimentació va afectar significativament els rendiments de la canal, essent aquests més elevats en l'engreix intensiu, especialment en els pesos més baixos, mentre que no s'observaren diferències significatives en l'índex de compacitat i la conformació.

Albertí *et al.* (1998) observaren com les races rústiques (Morucha, Avileña i Retinta) presentaven uns índexs de compacitat i rendiments de la canal més baixos, així com també una pitjor conformació i menors percentatges de magre que les races Asturiana de los Valles (*double-muscled*), Pirenaica, Rubia Gallega (de creixement ràpid) i la Parda Alpina (doble aptitud).

En un estudi de l'efecte del pes de sacrifici en la raça Pirenaica, Panea *et al.* (1999) observaren increments significatius de l'índex de compacitat de la canal, el grau d'engreixament, el pes del greix pelvià i renal i el percentatge de greix subcutani en augmentar el pes viu de sacrifici (460, 545 i 650 kg), mentre que no trobaren diferències significatives pel que fa a la conformació ni el rendiment de la canal.

1.4. EL MÚSCUL ESQUELÈTIC: DESCRIPCIÓ

La musculatura dels vertebrats es pot classificar, segons criteris morfològics, en tres tipus fonamentals: el múscul estriat o esquelètic, el múscul llis i el múscul cardíac. El múscul estriat o esquelètic s'anomena així per les bandes creuades o estries que s'observen distribuïdes regularment al llarg de les fibres, les unitats cel·lulars polinucleades que el constitueixen. Aquest múscul està voltat de teixit connectiu, el qual, mitjançant els tendons, en permet la fixació al ossos. El múscul llis no presenta les estries característiques del múscul esquelètic i les seves cèl·lules són petites, afusades i amb un sol nucli central. Es localitza principalment als òrgans viscerals (tracte gastrointestinal i respiratori, vasos sanguinis,...). I, pel que fa al múscul cardíac, aquest presenta característiques comunes als dos anteriors. Les seves cèl·lules tenen estriacions però són mononucleades i, freqüentment, ramificades (Manso, 1991).

El múscul estriat esquelètic està dissenyat i adaptat per tal de dur a terme els diferents moviments de l'organisme mitjançant la producció de força; d'aquí la seva gran diversitat quant a formes, mides i funcions. Aquesta musculatura és la principal font de proteïna d'alta qualitat de moltes dietes, ja que del múscul esquelètic s'obté la major part de la carn que es consumeix. La seva estructura és bastant complexa i els tipus de cèl·lules que el constitueixen, les fibres musculars, presenten una gran heterogeneïtat. El múscul es troba embolcallat per una capa externa de teixit connectiu anomenada **epimisi**. El teixit connectiu es troba també a l'interior del múscul embolcallant els diferents feixos de fibres musculars, és l'anomenat **perimisi**. Alhora una capa més fina, l'**endomisi**, recobreix cadascuna de les fibres musculars. Entremig del teixit connectiu que embolcalla els feixos de fibres es distribueixen els capil·lars sanguinis que abasten el metabolisme cel·lular, així com també les terminals axòniques de les neurones motores que innerven cadascuna de les fibres musculars. Als extrems dels músculs les diferents capes de teixit connectiu es fusionen amb els tendons, i aquests s'uneixen a l'esquelet.

1.4.1. El teixit connectiu

El teixit connectiu comprèn estructures molt diverses del cos i, en el cas concret dels músculs, això inclou des dels lligaments i els tendons fins als embolcalls musculars (epimisi, perimisi i endomisi). Està constituït per components cel·lulars (fibroblasts, mastòcits, macròfags) immersos en una matriu amorfa de mucopolisacàrids, sulfats de condroitina i àcid hialurònic, i tot englobat en una estructura fibrosa formada per fibres d'elastina i de col·lagen (Sims i Bailey, 1981). El col·lagen és una proteïna molt abundant

en el cos dels vertebrats, suposant fins al 95% dels elements fibrosos del teixit connectiu. La disposició de les fibres de col·lagen és molt important pel que fa a les propietats dels teixits. Aquestes s'organitzen de maneres diferents, depenent de la seva funció biològica (en feixos paral·lels en els tendons; en xarxes irregulars en la pell; en làmines concèntriques en els ossos).

Les **fibres de col·lagen** estan formades per feixos de **fibril·les de col·lagen**, i aquestes estan constituïdes per una successió repetitiva de molècules de **tropocol·lagen**, disposades paral·lelament de manera que cadascuna està desplaçada un quart respecte de l'adjacent, donant lloc a unes estriacions repetitives, característiques del col·lagen natiu. La molècula de tropocol·lagen està constituïda per 3 cadenes polipeptídiques amb estructura d'una hèlix 3_{10} (amb 3 residus aminoacídics per volta i 10 àtoms formant l'anell) que giren a l'esquerra i que s'agrupen entre elles formant una superhèlix amb enrotllament a la dreta (Cuezva *et al.*, 1991). Aquesta agregació es veu afavorida per la composició d'aminoàcids característica del col·lagen, amb un elevat contingut dels aminoàcids glicina (gly) i prolina (pro), els quals suposen el 50% del total, aproximadament, tot destacant-ne també el contingut d'hidroxiprolina (hyp), al voltant del 14%.

L'hidroxiprolina és un aminoàcid (aa) molt poc freqüent en les proteïnes, tant és així, que la seva quantificació s'utilitza habitualment per a la determinació del contingut de col·lagen de la carn (Bonnet i Kopp, 1984). Les seqüències peptídiques que més es repeteixen en les cadenes del tropocol·lagen són gly-pro-aa₁ i gly-aa₂-hyp. L'estabilitat de la superhèlix es manté gràcies a l'establiment de ponts d'hidrogen entre cadenes. En les fibres de col·lagen es troben també enllaços covalents creuats, tant entre les cadenes de la superhèlix de tropocol·lagen com entre les seves associacions (formant les fibril·les), els quals fan que augmenti molt la seva resistència i estabilitat mecàniques. Aquests enllaços covalents són reduïbles inicialment en els teixits dels animals joves, propietat que es va perdent amb l'edat, de manera que en els animals madurs són totalment estables, ajudant a explicar la major duresa de la seva carn (Sims i Bailey, 1981).

La molècula de tropocol·lagen presenta polimorfisme, està constituïda per diferents combinacions de cadenes polipeptídiques de seqüències aminoacídiques variables. Aquest polimorfisme està relacionat amb la funció i localització del col·lagen en l'organisme. Pel que fa al múscul esquelètic, s'han descrit 4 tipus de col·lagen: I, III, IV i V, essent els tipus I i III els predominants (Light i Champion, 1984). El tipus I forma part de l'epimisi i el perimisi; el tipus III es localitza al perimisi i a l'endomisi, i finalment, els tipus IV i V es troben a l'endomisi i a la membrana basal de les cèl·lules musculars.

1.4.2. Tipus de músculs

Els músculs es diferencien entre ells per una sèrie de característiques aparents: el color (vermell o blanc), la tonalitat (fosca o clara), la granulació (elevada o baixa), la quantitat de citoplasma (molt o poc), i d'altres a nivell subcel·lular que ja requereixen l'ús del microscopi electrònic, com l'amplada de la línia Z i el nombre i grandària de les mitocondries. De totes aquestes característiques, la que s'ha utilitzat més i està àmpliament generalitzada és la del color, distingint entre músculs vermells i músculs blancs, amb la corresponent gradació d'un tipus a l'altre.

En l'aspecte fisiològic, els músculs es diferencien per la seva velocitat de contracció, i així es distingeixen els músculs de contracció ràpida (*fast-twitch*) i els de contracció lenta (*slow-twitch*). Els músculs de contracció ràpida responen més ràpidament davant l'estimulació nerviosa i també es relaxen més ràpidament una vegada finalitzada aquesta, en comparació amb els músculs de contracció lenta. Així, els músculs esquelètics es poden classificar d'una manera molt general en músculs vermells, de contracció lenta, i músculs blancs, de contracció ràpida. Aquesta característica es troba molt relacionada amb el tipus d'activitat o treball que desenvolupen, ja sigui un treball sostingut i continuat en el cas dels primers, o bé una acció més explosiva i puntual, en el cas dels segons.

No obstant això, les variacions que es donen quant a mida, forma, composició i funció dels músculs del cos d'un mamífer són un reflex del gran ventall d'activitats que poden desenvolupar. El grau de vermell o blanc que presenta un múscul està estretament relacionat amb el seu contingut de mioglobina i, per tant, del nivell d'irrigació sanguínia que li arriba. Uns exemples clars els tenim amb els músculs vermells de la cuixa del pollastre i el múscul blanc del pit (pectoral), aquest darrer amb un clar predomini de fibres blanques. Altres músculs poden presentar zones clarament diferenciades, amb àrees vermelles i blanques, com és el cas del *semitendinosus* del porc (Pearson i Young, 1989b).

De manera complementària, els músculs es poden classificar també, d'acord amb la resistència a la fatiga, en músculs tònic i músculs fàssics (Goldspink, 1983). Els músculs tònic es contrauen amb menor freqüència i ho fan més lentament que els músculs fàssics. Els fàssics són els més estesos en la musculatura esquelètica dels vertebrats, es fatiguen amb més facilitat i presenten una major diversitat pel que fa a les seves reaccions i velocitats de contracció. Els músculs fàssics poden respondre de manera lenta a l'estímul (de contracció lenta) o bé ràpidament (de contracció ràpida). A nivell metabòlic poden ser oxidatius o glicolítics segons el grau d'irrigació sanguínia, el nombre de mitocondries i l'activitat ATPasa. Amb tot això, els músculs es poden classificar, segons la velocitat

amb què reaccionen davant un estímul i el seu metabolisme, en (Pearson i Young, 1989b):

- músculs de contracció lenta i oxidatius o **SO** (*slow twitch oxidative*)
- músculs de contracció ràpida i glicolítics o **FG** (*fast twitch glycolytic*)
- músculs de contracció ràpida i oxidatius-glicolítics o **FOG** (*fast twitch oxidative-glycolytic*).

Els músculs SO o de contracció lenta i oxidatius responen de manera lenta a l'hora de contraure's davant un estímul. Es caracteritzen per tenir un elevat nombre de mitocondries i perquè hidrolitzen l'ATP lentament. Els músculs vermells, a part de contraure's més lentament que els blancs, també mantenen la contracció durant més temps. Són músculs posturals i de moviments repetitius i que requereixen una baixa despesa energètica; n'és un exemple el *masseter* dels remugants.

Els músculs FG, de contracció ràpida i glicolítics responen de manera ràpida a l'estímul, amb una elevada velocitat d'escurçament o contracció i també tenen una elevada activitat miosina ATPasa. Solen presentar poques mitocondries i un elevat contingut en ATP. Són els responsables dels moviments ràpids i es fatiguen fàcilment, tornant als nivells normals una vegada finalitzada la contracció. Un exemple de múscul blanc és el múscul pectoral dels pollastres.

Els músculs FOG o de contracció ràpida i oxidatius-glicolítics són similars als FG pel que fa a la velocitat de contracció si bé solen escurçar-se menys. Presenten un major nombre de mitocondries i es recuperen amb més facilitat després d'un esforç. Són músculs adaptats als moviments ràpids i repetitius.

1.4.3. La fibra muscular

La fibra muscular és la unitat cel·lular bàsica del múscul. És una cèl·lula molt especialitzada, multinucleada, amb estructura cilíndrica i extremadament llarga (fins a diversos cm) en relació al seu diàmetre microscòpic (<100µm), podent abastar tota la llargada del múscul. La fibra muscular es troba embolcallada per una membrana cel·lular o **sarcolemma**, dessora la qual es disposen els nombrosos nuclis cel·lulars, i per una làmina o membrana basal que uneix el sarcolemma amb el teixit connectiu de l'endomisi.

En observar les fibres musculars al microscopi es veu que estan constituïdes per unes unitats més petites, les **miofibril·les**, les quals presenten unes estriacions repetitives

paral·leles. Les miofibril·les ocupen gran part de la fibra muscular, i la resta està ocupada pel **sarcoplasma**. En el sarcoplasma es troben diferents estructures: els orgànuls cel·lulars (mitochondries, lisosomes i peroxisomes), un reticle endoplasmàtic molt desenvolupat anomenat reticle sarcoplasmàtic i el citoesquelet. A més a més, s'observen dues bandes diferents en les estriacions de les miofibril·les: una banda fosca, la banda A, amb una àrea central clara (la zona H); i una banda clara, la banda I, amb una àrea central fosca (la línia Z). L'estructura compresa entre dues línies Z és la unitat funcional de la miofibril·la i s'anomena **sarcòmer**.

Els sarcòmers estan formats per dos tipus de filaments paral·lels: el filament gruixut i el filament prim. Els filaments gruixuts travessen tota la banda A i estan formats majoritàriament per molècules de **miosina** i diverses proteïnes d'unió a la miosina (MBPs, *Myosin binding proteins*), entre elles la proteïna C. Per altra part, els filaments primers abasten des de les línies Z fins a la vora de la zona H i estan formats per molècules d'**actina** i, en menor quantitat, de tropomiosina i del complex troponina. Cada filament de miosina es troba envoltat per sis filaments d'actina en una disposició hexagonal (Manso, 1991).

La contracció muscular es produeix pel lliscament entre els filaments de miosina i els d'actina en els sarcòmers, en un procés associat a una hidròlisi d'ATP. Resumidament, el procés de contracció muscular s'iniciaria amb un estímul nerviós que provoca la despolarització de la membrana de la fibra muscular i el consegüent alliberament d'ions Ca^{2+} del reticle sarcoplasmàtic. L'augment de la concentració d'ions Ca^{2+} en el sarcoplasma permet l'accessibilitat dels filaments d'actina als caps globulars de les molècules de miosina desencadenant així la formació cíclica de ponts entrecreuat mitjançant el consum d'ATP. Cada pont entrecreuat genera una força empenyent el filament d'actina cap al centre del sarcòmer. El desplaçament dels filaments d'actina provoca l'escurçament dels sarcòmers, que generen una força (Huxley, 1969, 1972).

1.4.3.1. La miosina

Les proteïnes musculars es poden classificar en tres grans grups: les proteïnes miofibril·lars, les sarcoplasmàtiques i les de l'estroma. Les proteïnes miofibril·lars (miosina, actina, connectina, tropomiosina i troponina, entre d'altres) suposen la fracció més gran, amb un 60% del total. Les proteïnes sarcoplasmàtiques representen el 30% i inclouen la mioglobina, que és el pigment muscular, així com nombrosos enzims implicats en el metabolisme energètic. Finalment, les proteïnes de l'estroma, amb el 10%

del total de proteïnes, tenen com a components majoritaris el col·lagen i l'elastina, principals constituents del teixit connectiu.

La miosina és la proteïna miofibril·lar més abundant de la musculatura esquelètica i cardíaca, amb més d'un terç de la proteïna total d'aquests teixits. És una macromolècula (~500.000 daltons) soluble a elevada força iònica i que precipita a baixa força iònica. La molècula de miosina està constituïda per sis subunitats polipeptídiques: dues cadenes pesants (**MHC**, *myosin heavy chain*; ~220.000 daltons cada una) i dos parells de cadenes lleugeres (**MLC**, *myosin light chain*; 14.000 - 20.000 daltons), unes anomenades MLC essencials o àlcali i les altres MLC reguladores o fosforil·lables.

Les dues cadenes pesants MHC formen una estructura allargada en l'extrem carboxi-terminal, la cua, per mitjà de dues α -hèlix entrelaçades i unides als dos caps globulars en l'extrem N-terminal per una regió anomenada coll. Els caps de la miosina corresponen als dominis o regions motors que contenen els llocs d'unió d'ATP i d'unió a l'actina. Les cadenes lleugeres MLC es troben associades a la zona α -hèlix del coll, dos a cada domini globular. Les MLC essencials estan unides properes als dominis motors i les MLC reguladores properes a la zona de la xarnera (Schiaffino i Reggiani 1996).

De fet, la miosina és una nucleòsid trifosfatasa (NTPasa), si bé l'ATP és el seu substrat fisiològic normal en la cèl·lula muscular. Mitjançant l'addició de tripsina o quimotripsina a una solució de miosina s'obtenen dos tipus de fragments proteolítics: la meromiosina pesant (HMM, *heavy meromyosin*) i la meromiosina lleugera (LMM, *light meromyosin*).

La HMM té una part α -hèlix i les zones globulars, i presenta tota l'activitat ATPasa i d'unió a les molècules d'actina. La LMM, amb estructura α -hèlix, correspon a la part de la miosina que s'empaqueta formant els filaments gruixuts (Lowey *et al.*, 1969). De manera addicional, el tractament de la HMM amb papaïna dona lloc a dos fragments S1 i un fragment S2. Els fragments S1 són els caps globulars de la miosina, mentre que el S2 correspon a la regió α -hèlix compresa entre el cap i la LMM. Aquestes zones de tall de la molècula de miosina correspondrien a les regions flexibles o xarneres (*hinge points*) que li permeten el moviment per acostar-se i unir-se als filaments d'actina durant el procés de contracció muscular. Així les cadenes polipeptídiques en aquestes regions tindrien una estructura menys rígida, la qual cosa les faria també més sensibles a l'activitat proteolítica (Pearson i Young, 1989a).

Tant les MHC com les MLC estan codificades per famílies multigèniques i es troben en diverses isoformes. Les diferents combinacions d'aquestes isoformes donen

lloc a un gran nombre d'isomiosines (Pette i Staron, 1990; Staron i Pette, 1987a, 1987b). En els músculs dels mamífers s'han caracteritzat, tant a nivell de proteïna com de mRNA, nou isoformes d'MHC, si bé se n'han descrit variants addicionals. Schiaffino i Reggiani (1996) en la seva revisió proposen la següent nomenclatura per a la classificació de les isoformes de l'MHC de la miosina: MHC- β /lenta, present en les fibres lentes (tipus I); MHC-2A, MHC-2X i MHC-2B, presents en les fibres ràpides; MHC-emb (embrionària); MHC-neo (neonatal); MHC- α (masseter); MHC-eo (extraocular) i MHC-m (mandibular en carnívors).

Les isoformes MHC- β /lenta, MHC-2A, MHC-2X i MHC-2B són les predominants en el múscul esquelètic adult en diferents espècies animals, mentre que les altres isoformes estarien restringides a fases inicials del desenvolupament o bé a distribucions molt concretes en els teixits. L'MHC- β /lenta i l'MHC- α són les principals isoformes cardíaques en el múscul cardíac humà i boví. L'MHC- β s'expressa predominantment en el miocardi ventricular i l'MHC- α en l'atri. Les seqüències aminoacídiques de les MHC dels mamífers tenen una elevada homologia, encara que hi ha algunes regions amb divergències: l'extrem carboxi terminal, la zona de xarnera entre els fragments proteolítics LMM i S2, la α -hèlix del coll i el cap globular en la proximitat dels llocs d'unió d'ATP i a l'actina (McNally *et al.*, 1989, Moore *et al.*, 1992).

Pel que fa a les cadenes lleugeres de la miosina, de les MLC essencials s'han identificat 5 isoformes principals en el múscul estriat dels mamífers (Barton i Buckingham, 1985): dues en les fibres ràpides, MLC-1f i MLC-3f; dues en les fibres lentes, MLC-1s/v (o MLC-1sb) i MLC-1sa; i una isoforma present en el desenvolupament muscular, MLC-1emb/atrial. Mentre que de les MLC reguladores o fosforil·lables en el múscul esquelètic dels mamífers, se n'han identificat dues isoformes: la MLC-2f i la MLC-2s (Schiaffino i Reggiani, 1996).

1.5. TIPUS DE FIBRES MUSCULARS: SISTEMES DE CLASSIFICACIÓ I METODOLOGIES

Els músculs són una barreja heterogènia dels diferents tipus de fibres musculars, si bé la seva classificació es basa en la preponderància d'aquells tipus que els confereixen unes determinades característiques metabòliques i funcionals. De manera general, en funció del metabolisme predominant, les fibres musculars es poden classificar en vermelles, blanques i intermèdies, segons que aquest sigui oxidatiu, glicolític o ambdós, oxidatiu i glicolític, respectivament (Gauthier, 1970; Moody i Cassens, 1968).

Per una banda, les fibres vermelles tendeixen a ser de mida més petita i tenen més mioglobina, major contingut de lípids i un major nombre de mitocòndries que les fibres blanques. D'acord amb les característiques descrites pels músculs vermells, les fibres vermelles es contrauen i es relaxen més lentament i són més resistents a la fatiga que les blanques. La irrigació sanguínia és més abundant (major capil·larització) i presenten més RNA com a conseqüència d'un major recanvi proteic. Per altra banda, les fibres blanques tenen un reticle sarcoplasmàtic molt més desenvolupat que permet les elevades velocitats de contracció i relaxació, i presenten una gran activitat glicolítica i un elevat contingut de glicogen, així com un menor contingut de mioglobina. Al costat d'aquestes, les fibres intermèdies presenten unes característiques intermèdies entre les vermelles i les blanques (Pearson i Young, 1989b).

L'estudi detallat de l'heterogeneïtat muscular, tant a nivell histològic com bioquímic, ha donat lloc a nombrosos sistemes de classificació de les fibres musculars, motivat tant per la diversitat de tècniques histoquímiques com per les diferents nomenclatures utilitzades (**Taula 1.1**). Així, en base a les activitats fosforil·lase i diverses activitats deshidrogenasa, Dubowitz i Pearse (1960a, 1960b) van classificar les fibres musculars en dos tipus: les fibres tipus **I**, riques en deshidrogenases i amb poca activitat fosforil·lase; i les fibres tipus **II**, amb poca activitat deshidrogenasa i elevada activitat fosforil·lase. Alhora reconegueren la presència de fibres amb activitats intermèdies.

L'aplicació de la tinció histoquímica per a l'adenosina-trifosfatasa miofibril·lar o ATPasa miofibril·lar (Padykula i Herman, 1955) a pH 9,4 en l'estudi i classificació de les fibres musculars suposà un avenç important, permetent distingir específicament dos tipus de fibres, als quals s'anomenà fibres tipus **I** i tipus **II** (Engel, 1962). Una tinció intermèdia o intensa correspon a les fibres tipus **II** o de contracció ràpida, mentre que les fibres tipus **I** o lentes es tenyeixen poc.

La proliferació de tècniques histoquímiques basades en la combinació de la tinció per l'ATPasa miofibril·lar (amb preincubació a diferents pHs àcids i alcalins) i tincions per a diferents enzims oxidatius (NADH-tetrazoli reductasa, NADH-TR; succinat deshidrogenasa, SDH) i glicolítics (amilofosforil·lase, AP; glicogen sintasa) va originar diferents sistemes de nomenclatura. No obstant això, tant en els estudis del múscul humà com en els d'animals productors de carn, un dels sistemes de classificació de les fibres musculars que més s'ha utilitzat fa la distinció dels tipus **I**, **IIA**, **IIB** i un quart tipus menys freqüent, el **IIC** (Brooke i Kaiser, 1970a, 1970b). Aquest sistema es basa en la tinció per l'ATPasa miofibril·lar a pH 9,4 i la combinació amb diferents preincubacions àcides. Així, es distingeixen les fibres tipus I, de contracció lenta i oxidatives, anomenades també fibres vermelles; les fibres tipus IIA, de contracció ràpida i metabolisme mixt oxidatiu i glicolític, conegudes com a fibres intermèdies; les fibres tipus IIB, de contracció ràpida i metabolisme glicolític o fibres blanques; i les menys freqüents, les fibres tipus IIC, i que correspondrien a fibres indiferenciades.

Peter *et al.* (1972) van proposar, en base a les característiques de velocitat de contracció i al metabolisme predominant, la classificació de les fibres en lentes i oxidatives, **SO** (*slow-twitch oxidative*); ràpides i oxidatives-glicolítiques, **FOG** (*fast-twitch oxidative-glycolytic*); i ràpides glicolítiques, **FG** (*fast-twitch glycolytic*). Aquests tres tipus de fibres es corresponen amb els tipus **β -R** (β -vermelles), **α -R** (α -vermelles) i **α -W** (α -blanques), respectivament, proposats per Ashmore i Doerr (1971) en base a les tincions per l'ATPasa miofibril·lar i la SDH.

Els sistemes de classificació en base a l'activitat ATPasa miofibril·lar –tipus I, IIA, IIB (i IIC) de Brooke i Kaiser (1970a) i els tipus SO, FOG i FG (Peter *et al.*, 1972)– no serien del tot equivalents, doncs si bé hi ha coincidència entre els tipus I i les SO, les fibres FG i FOG no coincideixen plenament amb cap dels tipus IIA, IIB o IIC (Pette i Staron, 1990).

Una gran part de les tècniques utilitzades en l'estudi del múscul esquelètic dels mamífers es basa en l'observació al microscopi òptic de seccions transversals de múscul. Aquestes han permès també estudiar la morfologia de les fibres musculars: l'àrea i el diàmetre (bé mesurant-los en les microfotografies o bé mitjançant els programes d'anàlisi d'imatge), així com també la determinació de la densitat capil·lar.

Una aproximació complementària ha estat l'aïllament de fibres individuals per a la identificació de les diferents isoformes de la miosina, tant les MHC com les MLC, mitjançant tècniques electroforètiques. Aquests estudis han permès observar una correlació entre els tipus de fibres classificats en base a la sensibilitat al pH de l'activitat

ATPasa miofibril·lar (Brooke i Kaiser, 1970a) i les isoformes de l'MHC expressades per les fibres musculars (Gorza, 1990; Termin *et al.*, 1989).

Així, en funció de les diferents mobilitats de les cadenes pesants de la miosina s'han determinat quatre isoformes en el múscul esquelètic adult dels mamífers (vegeu revisió Schiaffino i Reggiani, 1996). Les fibres classificades histoquímicament com a tipus I expressen la isoforma MHC-I, les tipus IIA expressen la isoforma MHC-IIA i les tipus IIB expressen bé l'MHC-IIB, bé l'MHC-IIX (Gorza, 1990; Schiaffino *et al.*, 1986, 1988, 1989), també anomenada MHC-IID (Bär i Pette, 1988; Termin *et al.*, 1989).

De la mateixa manera, els estudis electroforètics han permès determinar les diferents isoformes de les MLC (Billeter *et al.*, 1980, 1981; Staron i Pette, 1986, 1987a, 1987b; Young i Davey, 1981). S'ha observat que les fibres tipus I presenten principalment les isoformes LC1sa i LC1sb i LC2s, si bé també s'han trobat, encara que en menor proporció, les LC1f, LC2f i LC3f, mentre que tant les fibres IIA com les IIB expressen les isoformes LC1f, LC2f i LC3f. Per altra part, s'ha vist que les fibres de tipus IIC presenten una barreja d'isoformes lentes i ràpides, tant pel que fa a les MHC (MHC-I i MHC-IIA) com a les MLC (LC1sa, LC1sb, LC2s, LC1f, LC2f i LC3f) (Billeter *et al.*, 1980; Salviatti *et al.*, 1982; Staron i Pette, 1986, 1987a, 1987b). Aquestes fibres serien una forma de transició entre les tipus I i les II, i hom les pot trobar en individus neonatals i durant els processos de reparació de danys musculars (Pette i Staron, 1990; Staron i Pette, 1993).

Una altra aportació molt important a l'estudi de les fibres musculars, aplicada conjuntament amb les tècniques histoquímiques i electroforètiques, ha estat l'aplicació de tècniques immunohistoquímiques i immunològiques mitjançant la utilització d'anticossos policlonals i monoclonals que reconeixen marcadors específics dels diferents tipus de fibres (Gorza, 1990; Schiaffino *et al.*, 1986, 1989). Així, la utilització d'anticossos específics per a les diferents miosines expressades en les fibres musculars ha permès distingir els següents tres subtipus de fibres ràpides: IIA, IIX i IIB. Les fibres IIX (expressen l'MHC IIX), pel que fa a l'activitat mATPasa amb preincubació en formaldehid i pH 10,4, donen tincions similars a les IIA, mentre que amb preincubació a pH 4,6 les tincions són similars a les IIB; alhora, presenten una capacitat oxidativa intermèdia-elevada, més propera a les IIA. Aquest fet podria explicar algunes de les diferències observades entre les classificacions de les fibres musculars depenent de les tincions enzimàtiques utilitzades (Schiaffino *et al.*, 1989).

Taula 1.1 Nomenclatura utilitzada en els principals sistemes de classificació de les fibres musculars.

Tipus de fibres musculars				Autors
Vermelles	Intermèdies		Blanques	Gauthier (1970); Moody i Cassens (1968).
I	II			Dubowitz i Pearse (1960a,b)
I	II			Engel (1962)
I	IIC	IIA	IIB	Brooke i Kaiser (1970a,b)
β-R	α-R		α-W	Ashmore i Doerr (1971)
SO	FOG		FG	Peter <i>et al.</i> (1972)
I	IIA	IIX	IIB	Gorza (1990); Schiaffino <i>et al.</i> (1986, 1988, 1989).

1.6. CARACTERITZACIÓ DE LES FIBRES MUSCULARS EN EL BESTIAR BOVÍ

Els tipus de fibres musculars que determinen les propietats contràctils i metabòliques del múscul esquelètic poden afectar de manera molt important el metabolisme energètic, tant en l'animal viu (Hocquette *et al.*, 1998) com també en el període *post mortem* de conversió del múscul en carn (Monin i Ouali, 1991; Valin, 1988). Nombrosos treballs, que inclouen un ampli ventall de tècniques bioquímiques, han avaluat la variació en les característiques oxidatives, glicolítiques i propietats contràctils del múscul en el bestiar boví, per mitjà de les activitats dels diferents enzims implicats.

Talmant *et al.* (1986) van estudiar i classificar, d'acord amb les característiques contràctils i metabòliques, 18 músculs bovins escollits segons la seva importància relativa en la canal, així com les seves funcions particulars. L'estudi inclogué les activitats de l'ATPasa miofibril·lar i diversos enzims glicolítics (fosforil·lase, glicogen sintasa, hexoquinasa, lactat deshidrogenasa i gliceraldehid-3-fosfat deshidrogenasa), i mitocondrials (citocrom oxidasa, isocitrat deshidrogenasa, β -hidroxiacil-CoA deshidrogenasa), així com també el contingut de mioglobina.

Del grup de músculs estudiats per Talmant *et al.* (1986), el *masseter* (múscul de la ganta) fou el que presentà una menor activitat mATPasa, mostrant un elevat metabolisme aerobi, molt poca activitat glicolítica i el major pH últim, mentre que el *longissimus dorsi* (LD) es trobà en el grup de músculs amb les majors activitats mATPasa i LDH (lactat deshidrogenasa) i la menor activitat ICDH (isocitrat deshidrogenasa). Així, observaren que, en el conjunt de músculs, gran part de les activitats glicolítiques estaven correlacionades positivament entre elles i amb l'activitat mATPasa (elevada en les fibres de contracció ràpida), i negativament amb les activitats oxidatives, d'acord amb el que Ansary (1974) havia descrit anteriorment.

Altres estudis similars s'han dut a terme en porcí (Laborde *et al.*, 1985, Monin *et al.*, 1987) i en oví (Briand *et al.*, 1981). Els músculs amb una major proporció de fibres vermelles presenten unes concentracions de pigments totals i uns valors de pH últim significativament superiors als músculs amb predomini de fibres blanques, segons Rao i Gault (1989), coincidint amb les observacions prèvies de Talmant *et al.* (1986). Alhora, els músculs vermells tenen un contingut inferior de nitrogen total i una menor capacitat àcid-amortidora que els músculs amb predomini de fibres blanques.

Jurie *et al.* (1995b) observaren també correlacions negatives de l'activitat LDH amb la ICDH i la miosina MHC I, en els músculs *semitendinosus* (ST) i *longissimus thoracis* (LT), en vedells mascles de la raça Llemosina.

En un altre estudi, mitjançant tècniques histoquímiques, Jurie *et al.* (1995a) descriuen canvis en la distribució dels tipus de fibres del ST durant el desenvolupament dels animals (vedells mascles Llemosins, de 1 a 16 mesos), amb una conversió de fibres FOG a FG, coincidint amb treballs anteriors (Klosowski *et al.*, 1992; Seideman *et al.*, 1986). Al mateix temps, observaren també un increment progressiu de l'activitat LDH fins als 16 mesos d'edat, mentre que l'activitat ICDH davallava fins als 12 mesos, tornant-se incrementar als 16 mesos. Així, durant el desenvolupament es produiria una davallada de l'activitat ICDH (resultant de la conversió de fibres FOG a FG), la qual s'invertiria en augmentar l'edat i entrar en el període de maduresa de l'animal.

Per altra banda, Jurie *et al.* (1995a) van detectar també la presència de fibres indiferenciades del tipus IIC a tots els grups d'edat, si bé a partir dels 6 mesos només en una quarta part dels animals estudiats i representant al voltant de l'1% de les fibres totals. En altres estudis amb animals adults s'han trobat valors similars (Totland *et al.*, 1988; Young, 1984). Aquestes fibres, que expressen simultàniament tant les MHC lentes com les ràpides, s'observen normalment en els primers estadis del desenvolupament, si bé també es consideren una forma de transició en la transformació de fibres de tipus I cap a tipus II i viceversa (Billeter *et al.*, 1981).

Per la seva part, Renand *et al.* (1997) no observaren diferències significatives en l'LD, entre dos grups de vedells Charolais sacrificats a 15 i 19 mesos d'edat, pel que fa al percentatge d'MHC I (mitjançant ELISA) ni tampoc en l'activitat ICDH, però sí en l'activitat LDH, la qual fou significativament inferior en els animals més vells. Els animals de més edat presentaren també unes fibres musculars amb unes àrees significativament més grans.

Maltin *et al.* (1998) estudiaren els efectes de l'edat i el genotip (Angus i Charolais) sobre les característiques bioquímiques de les fibres musculars del *longissimus lumborum* (LL), mitjançant les tincions per les activitats mATPasa, α -glicerofosfat deshidrogenasa (glicolítica) i NADH-diaforasa (oxidativa) i les classificaren segons els tipus SO, FOG i FG (Peter *et al.*, 1972). En augmentar l'edat observaren un increment del percentatge d'àrea en les fibres SO i una disminució en les FG. D'altra banda, els vedells de la raça Angus presentaren les fibres SO amb una àrea més gran i les FG, més petites que els de la raça Charolais, si bé les diferències només foren significatives en el tipus SO.

L'efecte de la dieta (fenc *vs.* ensitjat) sobre les característiques de les fibres musculars fou avaluat per Listrat *et al.* (1999), en vedells de la raça Salers (sacrificats a 16 mesos d'edat), classificant les fibres mitjançant les tincions per les activitats mATPasa i SDH, en els tipus SO, FOG i FG (Peter *et al.*, 1972). Els autors no observaren diferències significatives entre els percentatges i les àrees dels diferents tipus de fibres per a les dues dietes en cap dels dos músculs estudiats, LT i ST, ni tampoc en les activitats enzimàtiques LDH i ICDH, excepte per a l'activitat ICDH del múscul ST, la qual fou més elevada en els animals alimentats amb ensitjat.

Vestergaard *et al.* (2000a) estudiaren les característiques de les fibres musculars dels vedells mascles de la raça Frisona engreixats en dos sistemes: intensiu i extensiu, i sacrificats a dos pesos diferents (360 i 460 kg) i classificant-les segons els tipus I, IIA i IIB (Brooke i Kaiser, 1970a, 1970b). El múscul LT dels vedells engreixats en sistema extensiu presentà un major percentatge de fibres tipus I (30,4 *vs.* 24,7%), juntament amb una millor vascularització i un potencial metabòlic oxidatiu més elevat (amb una major activitat citrat sintasa (CS) i menor activitat LDH) que no pas els animals engreixats en intensiu. El pes de sacrifici, en canvi, no va tenir incidència sobre aquestes variables, excepte en l'activitat CS, la qual fou més elevada en els animals més lleugers.

Recentment són diversos els treballs que presenten resultats sobre la caracterització de les fibres musculars en races bovines autòctones. Kim *et al.* (2000) trobaren un elevat percentatge de fibres tipus I (43,4%) en l'LT de la raça autòctona coreana Hanwoo (de pelatge bru), a nivell de la setena costella.

Morita *et al.* (2000) estudiaren la composició de les fibres musculars de la raça autòctona japonesa Mishima a diferents localitzacions del múscul LT, mitjançant histoquímica i classificant les fibres en els tipus I, IIA i IIB, segons la nomenclatura de Brooke i Kaiser (1970a, 1970b). Els autors observaren uns percentatges superiors de fibres tipus I en les zones de les vèrtebres sisena toràctica (37,1%) i cinquena lumbar (37,3%) respecte de l'onzena toràctica (25,8%).

Ozawa *et al.* (2000) estudiaren les característiques de les fibres musculars dels vedells de la raça Negra Japonesa (Japanese Black), sacrificats a uns 27 mesos de mitjana d'edat, i les classificaren d'acord amb la nomenclatura β R, α R i α W d'Asmore i Doerr (1971). El percentatge de fibres β R de l'LT a nivell de la sisena vèrtebra toràctica fou del 26,8%, amb el 18,5% en les α R i el 54,7% en les α W. No observaren diferències significatives entre els diàmetres dels diferents tipus de fibres, de manera que els percentatges d'àrea de cada tipus de fibra foren similars als de la composició del múscul.

En un estudi amb diverses races autòctones africanes: Afrikaner i Ngumi (*Bos taurus africanus*), la raça africana composta Bonsmara i les foranes Pinzgauer i Santa Gertrudis, Strydom *et al.* (2000) classificaren les fibres en vermelles, intermèdies i blanques en base a l'activitat SDH. Els percentatges de fibres vermelles de l'LT foren similars en totes les races, variant entre el 33,6% de la Bonsmara i el 35,7% de l'Afrikaner, mentre que pels altres dos tipus de fibres observaren diferències significatives entre races. Així, la Bonsmara i la Santa Gertrudis presentaren un percentatge de fibres blanques significativament més elevat que les altres races.

1.6.1. La utilització d'anticossos

La utilització d'anticossos específics pels diferents tipus de fibres ha suposat un enorme avenç en l'estudi de les fibres musculars (Duris *et al.*, 2000; Gorza, 1990; Schiaffino *et al.*, 1986, 1989). Robelin *et al.* (1993) estudiaren l'expressió de la miosina en l'ST de vacum durant el desenvolupament fetal mitjançant immunohistoquímica, amb diferents anticossos monoclonals específics per diferents cadenes pesants de miosina (MHC). Durant la miogènesi observaren la presència de quatre formes d'MHC: una de tipus lent, dues de tipus ràpid i una de tipus fetal. En aquest període observaren dues generacions successives de cèl·lules (igual que en altres mamífers), amb diferents patrons d'expressió de tipus de miosina. La primera generació de cèl·lules donaria lloc a les fibres tipus I (lentes), mentre que la segona es transformaria en les fibres de tipus IIA i IIB (ràpides) i les tipus IIC (ràpides/lentes).

Picard *et al.* (1994) van realitzar la determinació quantitativa de les fibres tipus I en el *longissimus thoracis* de vacum mitjançant ELISA, adaptat del mètode descrit per Winkelmann *et al.* (1983), utilitzant anticossos monoclonals específics per a la isoforma MHC I de la miosina (fibres tipus I, lentes). Per a l'obtenció de la recta patró de l'ELISA van utilitzar com a estàndard una barreja de dos músculs amb característiques extremes, el *masseter* i el *cutaneus trunci*. El *masseter* (M) dels remugants és un múscul vermell, oxidatiu i de contracció lenta, amb fibres predominantment del tipus I (Ouali *et al.*, 1988; Talmant *et al.*, 1986), mentre que el *cutaneus trunci* (CT) és un múscul blanc, constituït principalment per fibres del tipus II (Holmes & Ashmore, 1972).

Les característiques d'aquests dos músculs es van analitzar per electroforesi i immunoblotting i per tècniques histoquímiques i immunohistològiques. L'anàlisi electroforètica va permetre observar dues bandes diferents per al CT i una sola banda, de pes molecular inferior, per al M. Mitjançant l'*immunoblotting* amb els anticossos monoclonals específics per a les isoformes lenta (MHC I) i ràpides (MHC IIA i IIB) van

veure que el M contenia exclusivament la isoforma MHC I, mentre que el CT tenia només les isoformes ràpides MHC IIA i IIB.

Els estudis immunohistològics (Picard *et al.*, 1994) van confirmar que totes les fibres del *masseter* reaccionaven amb l'anticòs específic per a l'MHC I, però no amb l'específic per a les isoformes ràpides, mentre que les fibres del CT només eren reconegudes per l'anticòs específic per a les isoformes ràpides. L'estudi comparatiu entre les tècniques histoquímiques i les immunohistològiques va mostrar com les cèl·lules tenyides amb mATPasa àcida (fibres tipus I) es corresponien amb les reconegudes per l'anticòs monoclonal específic per l'MHC I.

Així doncs, Picard *et al.* (1994) demostraren, que el M boví només té fibres lentes (isoforma MHC I), d'acord amb anteriors observacions (Young, 1982; Young i Davey, 1981). Aquesta composició homogènia del *masseter* en fibres vermelles (tipus I), riques en mioglobina, estaria relacionada amb la seva funció adaptada al procés de remuc, el qual implica una acció o moviment lent i continuat. Pel que fa al CT, un múscul de contracció ràpida, només tindria fibres ràpides (isoformes MHC IIA i IIB) d'acord amb l'observat també per Swartz *et al.* (1993).

Picard *et al.* (1994), en les condicions del seu estudi, trobaren una correlació de 0,57 entre el contingut d'MHC I i el percentatge de fibres tipus I. A diferència de les tècniques histoquímiques, l'ELISA presenta els avantatges de ser un mètode de determinació quantitatiu i més ràpid, alhora que permet analitzar un gran nombre de mostres i treballar amb una quantitat de mostra més gran, més representativa del múscul. Per altra banda, es tracta d'un mètode menys informatiu, ja que no proporciona informació sobre les fibres individuals, el tipus de distribució en l'espai ni l'àrea. Aquest mètode mitjançant ELISA s'ha utilitzat per a la quantificació de miosina MHC I, conjuntament amb les tècniques histoquímiques i immunohistoquímiques clàssiques, en l'estudi del desenvolupament fetal i els efectes del deslletament, la castració i la restricció energètica sobre les característiques contràctils i metabòliques del múscul de vacum (Brandstetter *et al.*, 1997; Picard *et al.*, 1995a, 1995b, 1995c), així com també en estudis amb èquids (Barrey *et al.*, 1995; Valette *et al.*, 1995).

Brandstetter *et al.* (1998) estudiaren, combinant tècniques histoquímiques i immunohistoquímiques, els canvis en les característiques bioquímiques de diversos músculs durant el creixement, en vedells mascles de la raça Montbéliard sacrificats a 4, 8, 12 i 16 mesos d'edat. Aquests autors observaren com els canvis de les proporcions de la isoforma lenta MHC-I (quantificada mitjançant ELISA, Picard *et al.*, 1994), deguts al desenvolupament del animals, tenien lloc de manera sincronitzada en els diferents

músculs estudiats: *semitendinosus*, *longissimus thoracis*, *biceps femoris* (BF) i *triceps brachii* (TB).

Així, en tots els músculs, la proporció d'MHC-I disminuïa dels 4 als 8 mesos d'edat, seguida d'un augment regular fins als 16 mesos. L'increment més ràpid d'MHC I es donà en l'LT dels 8 als 12 mesos, essent aquest múscul el que presentà el major percentatge d'MHC I final (40,9%). En concordància amb aquests canvis en la proporció d'MHC I, la classificació histològica de les fibres musculars en els músculs ST i LT confirmà la transició cap als tipus de fibres ràpides IIA i IIB i la consegüent disminució del percentatge de fibres tipus I entre els 4 i els 8 mesos. Posteriorment, als 12 mesos observaren una disminució important de les fibres IIA i un increment de les fibres glicolítiques IIB i les oxidatives tipus I.

Per altra part, Brandstetter *et al.* (1998) observaren també un increment significatiu de les àrees de les fibres musculars amb l'edat, alhora que, independentment de l'edat dels animals, les fibres tipus I eren les més petites, les IIA tenien una mida intermèdia i les IIB eren les d'àrea més gran, d'acord amb el que s'havia descrit en altres treballs (Jurie *et al.*, 1995a; Maltin *et al.*, 1998; Renand *et al.*, 1997). Pel que fa a les activitats enzimàtiques LDH i ICDH, els canvis foren dependents del tipus de múscul. En l'LT s'observà un increment de l'activitat glicolítica, coincidint amb la davallada de l'MHC I entre els 4 i 8 mesos, tornant posteriorment als nivells inicials, mentre que l'activitat ICDH augmentà amb l'edat dels animals, estabilitzant-se però entre els 12 i 16 mesos.

1.7. CARACTERÍSTIQUES DE QUALITAT DE LA CARN

1.7.1. La qualitat de la carn

La qualitat de la carn ve donada per una suma de característiques mesurades objectivament que descriuen les seves propietats. Dintre els criteris de qualitat hi intervenen diferents factors: tecnològics, sensorials, nutricionals i higiènics. No obstant això, l'objectiu de la qualitat d'un producte és satisfer el consumidor, i això implica que s'adapti a les seves necessitats i exigències. Des del punt de vista sensorial i del consumidor, els paràmetres de qualitat de la carn de vedella més importants són el color, la tendresa, la sucositat i el *flavor* (Dumont, 1981).

Hi ha nombroses mesures, tant biofísiques com bioquímiques, que s'utilitzen per a la determinació objectiva de la qualitat de la carn i que es coneixen com a característiques de qualitat de la carn. D'entre aquestes característiques destaquen: el pH, el color, la capacitat de retenció d'aigua, el contingut de pigments, el contingut de greix intramuscular, la composició d'àcids grassos i la resistència al tall o *shear force* (Karlsson *et al.*, 1993). És important destacar que tant els factors biològics (espècie, raça o línia genètica, sexe, edat de sacrifici, tipus de múscul), com els factors productius (medi ambient, alimentació, maneig) i tecnològics (tractament *ante mortem*, durant el sacrifici i *post mortem*), afecten les característiques de qualitat de la carn. L'estudi d'aquestes característiques és complex i abasta des de l'estructura del múscul (composició del tipus de fibres musculars) i la seva composició química (humitat, greix intramuscular i proteïna) fins als canvis bioquímics *post mortem* (evolució del pH, nivells d'activitats enzimàtiques i metabòlits), els quals van estretament lligats a la composició de les fibres musculars.

1.7.2. Conversió del múscul en carn

Després del sacrifici de l'animal, en el múscul tenen lloc una sèrie de processos i transformacions que el converteixen en la carn com a producte de consum. Els processos de conversió del múscul a carn són complexos i hi ha involucrades alteracions metabòliques, físiques i estructurals. Amb la mort de l'animal, la irrigació sanguínia del múscul s'atura i, com a conseqüència, aquest no rep més aportacions d'energia ni d'oxigen. La limitació del subministrament energètic fa que només resti disponible l'energia que en aquest moment es troba en els músculs. Així, la conversió del múscul en carn es veu limitada a les reserves de glicogen, fosfats d'alta energia i els metabòlits

presentes en els teixits en el moment de la mort. Alhora, els productes resultants del metabolisme no poden ser eliminats i s'acumulen en el teixit. L'oxigen associat a l'hemoglobina sanguínia i a la mioglobina muscular s'esgota ràpidament, de manera que es produeix una davallada del potencial d'oxidoreducció i tot el sistema mitocondrial atura la síntesi d'ATP (àcid adenosina-trifosfòric).

Amb l'aturada del metabolisme oxidatiu, el mecanisme principal que intenta mantenir els nivells d'ATP és el metabolisme glicolític o anaerobi, mitjançant la glicòlisi anaeròbia. Aquest metabolisme consumeix les reserves de glicogen muscular i dona com a producte final àcid làctic, l'acumulació del qual és la responsable principal de la davallada de pH en el període *post mortem*. La conversió de glicogen a àcid làctic no s'atura fins que el primer s'esgota o bé quan el valor de pH que s'assoleix inactiva l'equip enzimàtic (normalment a valors d'entre 5,4 i 5,5) (Lawrie, 1998b, 1998c; Swatland, 1994b).

1.7.2.1. Aparició del *rigor mortis*

Just després del sacrifici de l'animal, el múscul és flàccid i extensible i és tendre quan es cou. En poques hores, a causa de l'esgotament de les reserves musculars i la desaparició de l'ATP, en el múscul es produeixen unions irreversibles entre les molècules d'actina i de miosina (responsables de la contracció muscular, vegeu l'apartat 1.4.3., p. 20), formant cadenes rígides d'actomiosina. Això porta com a conseqüència la pèrdua d'elasticitat del múscul, que es contrau una mica i es torna més rígid; és el que es coneix com a *rigor mortis* o rigidesa cadavèrica (Lawrie, 1998c).

Al principi aquest procés és lent ja que els nivells d'ATP es mantenen durant un cert temps mitjançant la resíntesi a partir d'ADP (àcid adenosina-difosfòric) i de creatina fosfat. L'establiment del *rigor mortis* comporta un enduriment i escurçament muscular (causat per la formació d'actomiosina i l'escurçament dels sarcòmers) i una disminució de la capacitat de retenció d'aigua (CRA). La disminució de la CRA es deu a diversos factors. D'una banda, la davallada del pH causa la desnaturalització de les proteïnes sarcoplasmàtiques, alhora que les proteïnes miofibril·lars s'aproximen al seu punt isoelèctric (5,4-5,5); ambdós processos disminueixen la seva capacitat de lligar molècules d'aigua i es produeix exsudat. Per altra banda, l'esgotament de l'ATP i la consegüent formació d'actomiosina farien també que hi hagi més aigua lliure (Lawrie, 1998b, 1998c).

Així doncs, l'aparició del *rigor mortis* comporta un deteriorament de la qualitat de la carn, ja que n'incrementa la duresa i en disminueix la capacitat de retenció d'aigua. La

quantitat de líquid exsudat i la duresa augmenten fins a les 24 hores *post mortem*, aproximadament, període en el qual el *rigor mortis* arriba al punt màxim. Hi ha diversos factors que afecten el temps d'aparició del *rigor mortis* (i també la seva intensitat i durada), tals com la temperatura, el tractament *ante mortem* (l'estrès abans del sacrifici) i factors productius que determinen la composició del múscul i les reaccions bioquímiques que hi tenen lloc. Abans de l'aparició del *rigor mortis*, si el múscul és exposat a temperatures de refrigeració per sota dels 10°C, assolint aquesta temperatura abans d'arribar a pH 6,2 (unes 10 hores en vacum), el múscul es contrau i es produeix el fenomen anomenat escurçament pel fred (*cold shortening*), el qual incrementa de manera notable la duresa de la carn, sense que aquesta millori amb la maduració posterior (Pearson i Young, 1989c).

1.7.2.2. Maduració de la carn

Posteriorment, una vegada assolit el màxim *rigor mortis*, s'entra en la fase que es coneix com a la maduració de la carn (*ageing* o *conditioning* en anglès), en la qual se succeeixen una sèrie de modificacions en les característiques sensorials de la carn que en milloren la textura (s'incrementa la tendresa), l'aroma i el *flavor* (desenvolupament de les aromes característiques de la carn) (Lawrie, 1998c).

La textura de la carn ve determinada per l'estat d'organització de les proteïnes de l'estructura muscular, el col·lagen, les proteïnes miofibril·lars i les del citoesquelet. Al llarg de la maduració es produeix un entendriment progressiu de la carn, acompanyat d'un cert increment de la capacitat de retenció d'aigua. Aquest entendriment de la carn està relacionat amb les modificacions de les miofibril·les i el citoesquelet, mentre que les propietats mecàniques i tèrmiques del teixit connectiu (el col·lagen) en resulten poc afectades. La degradació de les proteïnes miofibril·lars (fragmentació miofibril·lar) és deguda principalment a l'acció sinèrgica de les proteases musculars i dels canvis fisicoquímics (pH, pressió osmòtica) que tenen lloc al múscul *post mortem* (Ouali, 1990). Els complexos enzimàtics proteolítics endògens més importants que hi intervenen són les calpaïnes (proteïnases Ca^{2+} dependents), les catepsines (proteïnases lisosomals) i el proteasoma (complex multicatalític) (Rivett, 1989).

La maduració de la carn normalment es duu a terme mantenint-la en refrigeració entre 0–5°C (per tal d'evitar possibles contaminacions microbiològiques) i la durada dependrà molt de l'espècie animal i l'edat. Així, per a la carn de vacum es recomana un període de maduració mínim de 7 dies abans de consumir-la, essent preferible un període

superior als 10 dies (Campo, 1999), per tal d'incrementar-ne la tendresa, l'acceptabilitat del *flavor*, i la palatabilitat en general. En *vacum*, s'ha observat que la velocitat de maduració de la carn és més ràpida en els músculs ràpids i glicolítics (majors activitats ATPasa i LDH), menys vermells (menors contingut de pigments hemo i activitat citrat sintasa) i com més baix és el valor de pH últim assolit al llarg del *rigor mortis* (Valin, 1988).

Segons Renand *et al.* (1997), les mesures de compressió (mesura reològica indicadora del grau de maduració de la carn) depenen del tipus de fibra muscular, del seu metabolisme energètic (LDH, ICDH, pigments) i del tipus contràctil (miosina MHC I). Els animals amb uns músculs més oxidatius i amb major proporció de fibres de contracció lenta donen carns que maduren pitjor i serien més dures.

En un estudi amb diverses races espanyoles (Asturiana de los Valles, Pirenaica, Rubia Gallega, *Parda Alpina*/Bruna dels Pirineus, Avileña-Negra Ibérica, Morucha i Retinta), Campo *et al.* (1999) observaren un increment de la tendresa en totes les races en augmentar el temps de maduració. Segons aquest mateix estudi, la carn de vedells de la raça Asturiana de los Valles (amb genotip *double-muscled*) fou la més tendra en els primers dies de la maduració (1-3 dies), mentre que als 21 dies fou avaluada com a la menys tendra, encara que no significativament. El metabolisme predominantment glicolític dels animals *double-muscled* (Tatum *et al.*, 1990; Wegner *et al.*, 1997) afavoriria una major velocitat de maduració inicial.

1.7.3. El pH i la capacitat de retenció d'aigua

La mesura del pH muscular en el període *post mortem* (després del sacrifici) és una de les mesures objectives més utilitzades en l'estudi de la qualitat de la carn. La velocitat de davallada del pH, la durada i el valor final que s'assoleix, conegut com a pH últim (pH_U, mesurat a les 24 hores *post mortem*) són molt importants i afecten la capacitat de retenció d'aigua, a més de la textura i el color de la carn. En la carn de *vacum*, concretament, la mesura del pH últim és molt important per a determinar les possibles carns DFD.

La temperatura té un gran efecte sobre els processos metabòlics i la velocitat de davallada del pH es veu clarament afectada per aquest factor, essent més ràpida a temperatures elevades, des de 37° fins a 7°C (Greaser, 1986). La mesura del pH és un indicador fiable i sensible de la velocitat i l'abast de la glicòlisi *post mortem*. Així doncs,

el pH és un factor objectiu molt important en la qualitat de la carn ja que està relacionat amb els processos bioquímics de transformació del múscul en carn. En general, els músculs amb fibres predominantment de tipus vermell presenten valors de pH_U més elevats que els músculs amb predomini de fibres blanques (Monin, 1981; Rao *et al.*, 1989; Rao i Gault, 1989; Talmant *et al.*, 1986; Vega-Warner *et al.*, 1999).

La capacitat de retenció d'aigua (CRA) és la propietat que té la carn de retenir les molècules d'aigua en la seva estructura. El múscul esquelètic conté al voltant d'un 75% d'aigua. D'aquesta aigua, es considera que un 90-95% es trobaria en la forma "lliure" dins l'estructura miofibril·lar del múscul, mentre que un 5-10% es trobaria "lligada" (mitjançant interaccions tipus pont d'hidrogen) a la superfície i dins les fissures o escletxes de les molècules de les proteïnes, en un intercanvi dinàmic amb l'aigua lliure (Offer i Knight, 1988; Trout, 1988). L'aigua "lliure", que és la que està relacionada amb la CRA, es trobaria retinguda en l'estructura del múscul per capil·laritat, de manera semblant a una esponja (Trout, 1988).

Els fenòmens relacionats amb la CRA i la seva mesura són diversos, així Hamm (1986) en proposa la distinció mitjançant la següent terminologia:

Pèrdues per degoteig (*drip loss*): formació d'exsudat en la carn o productes carnis (excepte per descongelació) sense l'aplicació de forces externes.

Pèrdues per descongelació (*thawing loss*): formació d'exsudat en la carn després de la congelació i descongelació sense aplicar forces externes.

Pèrdues en la cocció (*cooking loss*): alliberament de líquids després d'escalfar la carn amb o sense l'aplicació de forces externes (ex.: centrifugació o pressió).

Líquid expremible (*expressible juice*): alliberament de líquid de la carn sense escalfar (també després de congelar i descongelar) durant l'aplicació de forces externes (pressió, centrifugació o succió).

La CRA es veu molt afectada pels canvis *post mortem*: davallada del pH, l'aparició del *rigor mortis* i la maduració de la carn. La CRA és mínima a valors de pH de 5,0-5,1, que es correspon amb el punt isoelèctric de les proteïnes musculars actina i miosina (Hamm, 1986). La CRA és una propietat molt important ja que influeix en l'aspecte de la carn abans de cuinar-la (pèrdues per degoteig), en el seu comportament durant la cocció (pèrdues en la cocció) i en la sensació de sucositat que produeix durant la masticació.

Segons Hearne *et al.* (1978), les pèrdues en la cocció (PC) depenen de la temperatura i la velocitat d'escalfament. Palka i Daun (1999) observaren en mostres del múscul ST boví un increment de les PC en augmentar la temperatura interna. Els majors

increments de pèrdues es produïren entre els 50-60°C i entre els 60-70°C, atribuint-ho a la desnaturalització tèrmica de les proteïnes miofibril·lars i a la contracció del col·lagen.

Els músculs més glicolítics assoleixen uns valors de pH últim més baixos (Rao *et al.*, 1989; Rao i Gault, 1989; Talmant *et al.*, 1986), i alhora els músculs amb valors de pH baixos presenten una menor capacitat de retenció d'aigua (Bouton *et al.*, 1973; Lawrie, 1998c). Purchas (1990) descriu com el major pH últim (valors >6,0) de la carn es troba relacionat amb unes menors pèrdues de líquid per pressió i pèrdues en la cocció. Boakye i Mittal (1993) descriuen, al llarg de la maduració, increments significatius dels valors de pH i les pèrdues en la cocció, i trobaren correlacions positives entre les PLP, les PC i el pH. Silva *et al.* (1999) observaren unes pèrdues en la cocció menors en les carns DFD respecte de les normals, alhora descriuen també un increment de les PC en les carns normals entre 1 a 6 dies de maduració. Destefanis *et al.* (2000) descriuen també una correlació negativa entre el pH i les pèrdues en la cocció.

Oliván *et al.* (1999) observaren com la carn dels animals de la raça Asturiana de la Montaña, amb un major contingut de pigments (múscul més oxidatiu) respecte de la de l'Asturiana de los Valles (amb presència d'animals *culones*), presentava també una millor CRA (menors pèrdues de líquid per pressió); alhora, en la raça AV els animals heterozigots pel caràcter *culón*, amb un major contingut de mioglobina que els homozigots, presentaven també una millor CRA. Cal assenyalar però que els autors no observaren diferències significatives pel que fa als valors de pH_U entre ambdues races, com tampoc entre els animals homozigots i els heterozigots.

1.7.3.1. Problemes de qualitat de la carn

El maneig dels animals durant el període de temps previ al sacrifici, o sigui el tractament *ante mortem*, influeix en l'evolució del pH *post mortem*. El valor de pH del múscul en l'animal viu es troba entre 6,7 i 7,2 mentre que el pH final normal de la carn és d'entre 5,4 i 5,8. L'estrès dels animals abans del sacrifici pot donar lloc a dos tipus de defectes de la carn: l'aparició de pH elevats o bé la disminució massa ràpida del pH.

Els valors de pH elevats donen lloc a les anomenades carns DFD (*dark, firm & dry*): fosques, dures i eixutes. Aquesta anomalia es dona quan els animals han esgotat les reserves de glicogen muscular en el període abans del sacrifici, per un estrès perllongat amb causes diverses: l'excitació més freqüent en els mascles joves, les condicions meteorològiques, el tractament *ante mortem* amb períodes llargs de dejuni i transport de

la granja a l'escorxador, barreja d'animals de diferents lots (Tarrant, 1981). Llavors, durant els canvis *post mortem* hi ha poc glicogen disponible i es produeix poc àcid làctic, la qual cosa fa que el pH no pugui seguir una davallada normal i dona lloc a un pH últim (a les 24 hores) elevat ($pH_U > 5,9-6,0$).

Aquestes condicions de pH_U elevat no malmeten tant l'estructura proteica del múscul com les condicions normals i fan que el color de la carn sigui molt més fosc perquè absorbeix més la llum, alhora que aquesta carn presenta una major CRA (Fischer i Hamm, 1981). Per altra banda, la vida mitjana de la carn es redueix considerablement a causa de la major proliferació bacteriana a aquests pHs. L'aspecte molt més fosc que el normal d'aquest tipus de carn és degut en part al fet que encara hi ha un cert metabolisme oxidatiu actiu, la respiració mitocondrial, que manté la mioglobina reduïda (Mb) responsable de la coloració vermell porpra (la forma oxigenada, l'oximioglobina (MbO_2), dona un color vermell brillant a la carn normal). Aquesta carn amb un color més fosc, anormal, és motiu de rebuig per part dels consumidors (Tarrant, 1981).

No obstant això, cal assenyalar que els valors de pH_U elevats afecten positivament algunes propietats sensorials de la carn. D'acord amb les observacions de Santolaria (1993) en augmentar el pH s'incrementa també significativament la nota de tendresa, juntament amb una tendència a augmentar la sucositat i l'apreciació global de la carn.

En el cas de la disminució molt ràpida del pH a l'inici del període *post mortem*, aquesta davallada es produeix quan la temperatura del múscul encara és elevada. Els valors baixos de pH que s'assoleixen, $pH < 6,0$ en la primera hora *post mortem*, juntament amb la temperatura del múscul, superior als 35°C , provoquen una major desnaturalització de les proteïnes sarcoplasmàtiques i miofibril·lars del múscul (Greaser, 1986). Els efectes visibles d'aquest procés són una pèrdua exagerada de líquid per degoteig (disminució de la capacitat de retenció d'aigua), una textura tova amb manca de consistència de la carn i una coloració molt més clara (carn més pàl·lida). Aquest tipus de carn s'anomena PSE (*pale, soft & exudative*): pàl·lida, tova i exsudativa.

La carn PSE és molt més freqüent en porcí que en vacum. En els casos en què es dona en la carn de vacum, sovint es localitza en el múscul *psaos major* (Fischer *et al.*, 1977a, 1977b) i altres músculs del quart posterior. En aquests músculs la condició PSE es desenvolupa perquè durant el període *post mortem* els músculs estan exposats a temperatures relativament elevades per la pèrdua lenta de calor. També s'han observat casos de PSE en el múscul *longissimus thoracis et lumborum* en canals comercials (Khan i Ballantyne, 1973). En altres casos, el PSE és induït per l'estimulació elèctrica a baix

voltatge de les canals a l'inici del període *post mortem* (Aalhus *et al.*, 1994). Les pèrdues de líquid per degoteig (*drip loss*) en la carn normal són més elevades en el porc que en el vacum, encara que en les carns PSE les pèrdues són molt més elevades en la carn de vacum que en la de porc (Aalhus *et al.*, 1998).

1.7.4. El color de la carn

El color de la carn és determinant en la decisió de compra per part del consumidor. És una característica molt important pel que fa a l'aparença física de la carn, de manera que aquesta és escollida d'acord amb l'aparença que genera més expectatives de satisfacció en el comprador. En general, la carn amb un color vermell brillant és més atractiva i és considerada més fresca per part del consumidor que la carn vermellosa o marronosa (Dumont, 1981).

El color intrínsec de la carn ve determinat, principalment, pel contingut total de pigments hemo del múscul (majoritàriament mioglobina), i per l'estat d'oxidació dels grups hemo (**Figura 1.1**), clarament afectat per l'evolució del pH i el valor pH_U que s'assoleix. Així doncs, la concentració i l'estat fisicoquímico dels pigments musculars són els principals factors dels quals depèn l'absorció de la llum. No obstant això, el color observat depèn, a més de l'absorció, de la reflectància (factor de reflexió corresponent a la relació entre la llum reflectada i la incident) i la seva component de llum dispersada, la dispersió, a la superfície de la carn, així com també del color de la llum incident. L'estructura muscular (contingut de teixit connectiu i de greix marbrejat), la rugositat de la superfície de la carn i la presència d'humitat afecten aquestes propietats òptiques (Murray, 1992; Renner, 1982).

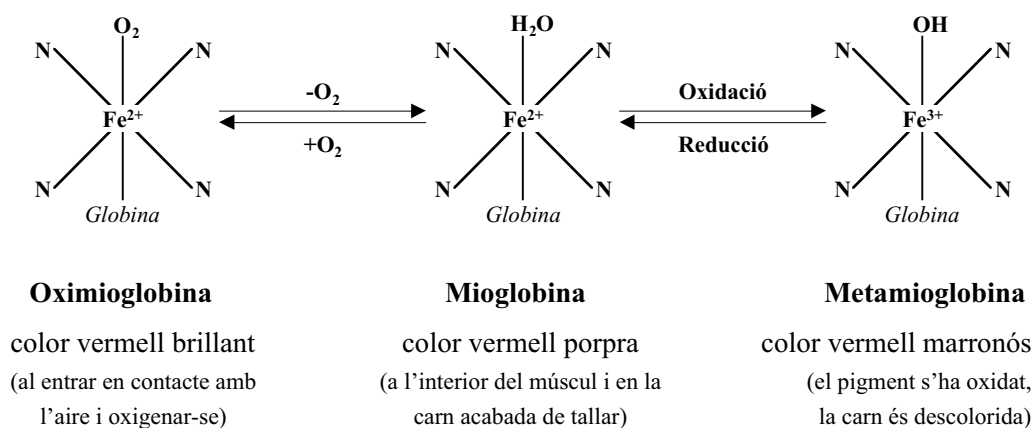
1.7.4.1. Els pigments musculars

Els pigments musculars estan constituïts principalment per mioglobina (amb algunes restes d'hemoglobina, especialment quan no es realitza un dessagnat correcte). Altres pigments presents a la carn en concentracions molt baixes són els hemo citocroms (vermells), les flavines (grogues) i la vitamina B12 (vermella). La mioglobina és una hemoproteïna constituïda per un component proteic, la globina, i un grup prostètic, l'hemo, (format per un àtom de ferro i un anell porfirínic) i té com a funcions el magatzem i transport d'oxigen dins les fibres musculars.

L'efecte del contingut de pigments hemo sobre el color de la carn depèn de la distribució d'aquests en el múscul, així com també del seu estat químic (redox). Com més pigments conté la carn, més fosc i més intens serà el seu color (MacDougall, 1982; Moss *et al.*, 1994). No obstant això, l'efecte dels pigments en el color es veu modificat, en gran mesura, per l'estat de les proteïnes musculars i el pH. L'estat químic dels pigments, del grup hemo de la mioglobina, és el principal determinant de la tonalitat real del color o angle de *hue* (H°). Livingston i Brown (1981) varen confirmar la importància de l'estat redox de l'àtom de ferro de la mioglobina respecte al color de la carn: si l'àtom de ferro es troba en estat reduït (Fe^{2+} , ió ferrós), en la mioglobina reduïda (Mb) i l'oximioglobina (MbO_2), dóna a la carn un color vermell porpra i vermell brillant, respectivament (**Figura 1.1**), mentre que si es troba en l'estat oxidat (Fe^{3+} , ió fèrric), en la metamioglobina (MMb), els components solen ser d'un color vermell marronós.

En el múscul de l'animal viu hi ha un equilibri entre la forma reduïda de la mioglobina i la forma oxigenada, l'oximioglobina. La carn de vacum fresca acabada de tallar té un color vermell porpra, a causa de la mioglobina (Mb). En estar exposada a l'aire aquesta s'oxigena ràpidament i passa a oximioglobina (MbO_2) i dóna un color vermell brillant (a la superfície), que seria el de la carn fresca normal. Aquest canvi de color (*blooming*) és molt més espectacular en la carn de vacum que en la de porc, a causa del major contingut de pigments de la primera (Millar *et al.*, 1994).

Figura 1.1 Canvis en l'estat redox de l'àtom de ferro de la mioglobina.



El manteniment de la mioglobina en l'estat d'oximioglobina depèn del temps que triguen a inactivar-se els mecanismes reductors consumidors d'oxigen. En anar incrementant-se el temps *post mortem* aquests mecanismes reductors van aturant-se de

manera que l'oximioglobina dels pigments es va oxidant, passant a metamioglobina (Fe^{3+}), i quan el percentatge de metamioglobina arriba al voltant del 60%, el color marró és perceptible i provoca el descoloriment de la carn (Lawrie, 1966). La proporció dels diferents estats de la mioglobina a la superfície de la carn depèn del temps de maduració i del tipus d'atmosfera a la qual està exposada (normal, envasat al buit o diferents proporcions d' $\text{O}_2/\text{CO}_2/\text{N}_2$) (Insausti *et al.*, 1999).

1.7.4.2. Mesura del color

El color es pot definir com a la qualitat de la sensació produïda en un observador per l'efecte distint que provoquen en la retina les llums de diferents longituds d'ona compreses entre uns 380 i 760 nm. L'avaluació del color de la carn es pot realitzar amb mètodes químics mitjançant la determinació del contingut de pigments hemo (Hornsey, 1956). No obstant això, també és molt important la mesura del color percebut per l'observador o consumidor. Aquestes avaluacions es realitzen directament sobre la superfície de la carn.

Els aparells més utilitzats són els colorímetres, que realitzen mesures triestímul (X,Y,Z) de la llum reflectida a la superfície, i els espectrofotòmetres, els quals permeten fer les determinacions a diferents punts de l'espectre visual. Les dades obtingudes s'expressen en els anomenats espais de color, essent un dels més utilitzats l'espai de color uniforme CIELAB de la *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE, 1976). La mesura del color en el sistema CIELAB o CIE $L^*a^*b^*$ es defineix per una representació tridimensional que correspon a l'anomenat sòlid o espai 3D del color (**Figura 1.2**, p. 44). L^* és el factor de lluminositat, mentre que a^* i b^* són les coordenades de cromaticitat o qualitat colorimètrica en el sistema CIE $L^*a^*b^*$.

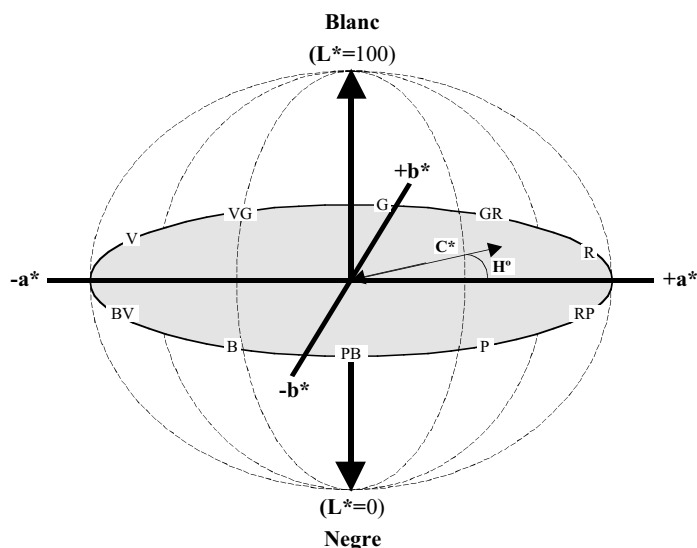
Com que el color observat depèn també del tipus de llum incident, s'han definit uns il·luminants estàndards (CIE, 1976), dos dels més utilitzats són el C i el D_{65} . El C representa la llum d'un dia ennuvolat i li correspon una temperatura de color de 6.774K i el D_{65} correspon a la llum total del dia (del sol i del cel), amb una T^a de color de 6.500K (Hutchings, 1994). Igualment, també s'han definit uns observadors estàndard recomanats per a l'estudi del color, els quals corresponen a la mitjana de la població humana per a dos camps de visió: 2° i 10° .

El color que percebem presenta tres components o dimensions: el to, la saturació i la lluminositat. Així, el color es defineix també mitjançant les coordenades cilíndriques L^* , C^* i H° (**Figura 1.2**) del sistema CIE $L^*C^*H^\circ$. La L^* correspon a la lluminositat,

indica el grau de claredat o foscor del color. La C^* és l'anomenat cromà o saturació, descriu el grau en què un color se separa del gris neutre i s'acosta a un color pur de l'espectre, indicant la intensitat o grau de saturació del color. El H° (*hue*, de l'anglès) és el to i es refereix a l'atribut de la sensació visual que permet de classificar un color (correspon als noms corrents dels colors: vermell, blau, groc, verd, etc.). El *hue* i el cromà s'obtenen matemàticament a partir dels valors d' a^* i b^* mitjançant les equacions següents (Artigas *et al.*, 1985; Wyszecki i Stiles, 1967):

$$H^\circ_{a,b} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right); \quad C^*_{a,b} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}.$$

Figura 1.2 Espai de color CIE $L^*a^*b^*$ i coordenades cilíndriques C^* i H° .



L^* : claredat del color
 $+a^*/-a^*$: vermell/verd
 $+b^*/-b^*$: groc/blau
 C^* : cromà o intensitat del color
 H° : angle *hue* o to del color

R: roig (vermell)
 RP: roig-porpora
 P: porpra
 PB: porpra-blau
 B: blau

BV: blau-verd
 V: verd
 VG: verd-groc
 G: groc
 GR: groc-roig

En l'espai 3D de color CIE $L^*a^*b^*$ (**Figura 1.2**), els valors de L^* es troben a l'eix Y, indicant la lluminositat o claredat del color, és a dir, la tendència cap al blanc o cap al negre. Els colors clars tenen valors d' L^* grans, d'aquesta manera al color blanc li correspon un valor d' $L^* = 100$ i al color negre $L^* = 0$. Als eixos X i Z es troben els valors d' a^* i b^* , respectivament. Aquests valors estan basats en la teoria d'oposició dels colors segons la qual un color no pot ser vermell i verd al mateix temps, ni tampoc blau i groc

ahora. Així, el valor de color a^* varia de verd a vermell ($-a^*$, $+a^*$), i el valor b^* ho fa de blau a groc ($-b^*$, $+b^*$), aproximadament.

En les mesures del color de la carn, els valors d' a^* indiquen la tendència al vermell i els de b^* la tendència al groc. A la seva intersecció ($a^*=0$, $b^*=0$), els colors varien de blanc a negre al llarg de l'eix L^* (Y). El H° es disposa en el pla YZ, perimetralment a l'eix L^* . Cada color de l'espectre visible està definit per un valor d'angle *hue* o to de color que varia de 0° fins a 360° . El valor de C^* indica la intensitat del color o el grau de saturació d'aquest respecte a un gris neutre del mateix valor. Si a^* i b^* són pròxims a zero també ho serà C^* . Així, els colors més saturats o més vius corresponen als valors més allunyats de l'eix L^* , són menys grisos (Murray, 1992).

El contingut de pigments del múscul dóna un aspecte més o menys fosc a la carn i afecta la lluminositat. Les carns normals de vedella i de porc presenten un valor d'angle *hue* similar, però la carn de vedella té un valor de L^* més baix (és més fosca) i un valor de cromà superior (el color és més intens, menys gris) que el de la carn de porc, pel seu major contingut de pigments. La carn molt pàl·lida, com el cas de la carn PSE, tant en porcí com en vacum, té uns valors de L^* i C^* més grans del normal i també un H° superior, la qual cosa indica que el H° ha canviat dins l'espectre, del vermell cap al groc (Aalhus *et al.*, 1998). La carn fosca, com el cas de la carn DFD, té un valor L^* inferior al normal i també té un H° inferior que indica un canvi dins l'espectre, del vermell cap al porpra. No obstant això, el valor de C^* o saturació és inferior al de la carn de porc normal (Murray, 1992).

1.7.4.3. Factors de variació

El contingut de pigments i el color de la carn i la seva evolució es veuen afectats per un gran nombre de factors, des d'aquells relatius a l'animal –com són l'edat, la raça, el sexe, els tipus de fibres musculars (vegeu apartat 1.9.1., p. 57) i l'alimentació–, així com també, en el cas del color, les reserves energètiques i als relacionats amb el tractament *ante mortem* i l'evolució *post mortem* del *rigor mortis*, la maduració i l'exposició a l'oxigen (Dikeman, 1990; Swatland, 1994b).

El múscul de l'animal acabat de sacrificar té un aspecte fosc i translúcid, el qual es veu alterat durant el procés de conversió en carn. L'abast dels canvis que es produeixen en el múscul durant aquest període depèn, com ja s'ha comentat anteriorment, de l'evolució del procés de glicòlisi i la davallada de pH que se'n deriva. Aquesta afecta

l'estructura de les fibres musculars i l'estat de les proteïnes i ocasiona canvis en les propietats òptiques de la carn (MacDougall i Jones, 1981; Swatland, 1982), que es torna progressivament més opaca, incrementant-se la dispersió de la llum.

L'estabilitat del color, així com el potencial d'oxidoreducció de la mioglobina depenen, en gran mesura, del tipus de múscul (Renerre i Labas, 1987). L'evolució del color no és igual a tots els músculs i segons aquests autors, els músculs amb menor estabilitat del color són els que presenten major activitat oxidativa: contingut de pigments hemo, contingut de citocrom a(+a₃) i la velocitat de consum d'oxigen.

Els problemes de qualitat de la carn (carns PSE i DFD) depenen del tipus de metabolisme del múscul, del seu potencial glicolític (Monin *et al.*, 1987). Els valors baixos de pH, com en el cas de les carns PSE, potencien l'oxigenació i l'oxidació dels pigments musculars. Per aquesta raó, les carns PSE perden el color ràpidament, guanyant pal·lidesa o claredat, mentre que les carns normals i les DFD no ho fan tan ràpidament, a causa de la diferent evolució del pH. En la carn normal, la davallada del pH no és tan ràpida i acusada com en la PSE, la qual cosa evita l'oxidació ràpida de l'oximioglobina a metamioglobina; així, la carn normal manté el color vermell brillant de l'oximioglobina durant més temps.

En el cas de la carn DFD, la curta davallada del pH ($pH_U > 6,0$) evita l'oxidació dels pigments musculars i en potencia la reducció ja que es manté l'activitat dels enzims citocròmics, els quals redueixen immediatament l'oximioglobina. L'elevada reducció dels pigments manté el color porpra de la mioglobina; aquest fet, juntament amb l'alteració de la reflectància, fa que la carn DFD tingui un aspecte més fosc que la carn normal (Fischer i Hamm, 1981), fent-la poc atractiva per al consum (Tarrant, 1981).

En diversos treballs (Maltin *et al.*, 1998; Renand *et al.*, 1997; Vestergaard, 2000a) s'ha observat com el contingut de pigments musculars augmenta amb l'edat de l'animal. A més, les diferències en el contingut de pigments també es troben a nivell dels músculs a causa de la diferent composició de les fibres musculars. Els músculs amb una major proporció de fibres vermelles i major capacitat oxidativa presenten unes concentracions de pigments totals significativament superiors als músculs amb predomini de fibres blanques (Pearson i Young, 1989b; Rao i Gault 1989; Talmant *et al.*, 1986).

Powell (1991) descriu un efecte significatiu de l'edat sobre el color de la carn en animals Hereford i encreuaments. L'LD dels animals joves (18 mesos) era més pàl·lid, amb una L* més elevada, i menys vermell, una a* més baixa, que els animals més vells (54 mesos).

Albertí *et al.* (1995) no observaren diferències significatives en el color del LD dels vedells de les races Pirenaica i Parda Alpina/*Bruna dels Pirineus* alimentats amb un pinso amb una substitució parcial de cereals per gluten i mandioca i el dels vedells alimentats amb el pinso control.

En un altre estudi, Albertí *et al.* (1999) trobaren que els músculs LD dels vedells de la raça Parda Alpina/*Bruna* i les races rústiques Avileña, Morucha i Retinta presentaven un color més fosc i vermell que les races de desenvolupament més tardà (Asturiana de los Valles, Pirenaica i Rubia Gallega), amb una carn més pàl·lida.

Els animals de la raça Asturiana de la Montaña (raça rústica) presentaren un contingut de pigments significativament superior als de l'Asturiana de los Valles (raça de bona aptitud càrnia seleccionada pel gen *culón*), segons descriuen Oliván *et al.* (1999). Així mateix, el contingut de pigments fou també significativament més elevat en els animals de l'Asturiana de los Valles heterozigots respecte dels homozigots pel caràcter *culón*.

Insausti *et al.* (1999) descriuen diferències en el color de l'LD a 24 hores *pm* en les races Rubia Gallega, Pirenaica, Asturiana de los Valles, Parda Alpina i Morucha. Concretament, la Morucha (raça rústica de zones de deveses) presentà un color significativament més vermell que la resta de races i, juntament amb la Parda Alpina (o Bruna dels Pirineus), foren les races amb la carn més fosca (valors més baixos d'L*). Al llarg dels primers 5 dies de la maduració, observaren com totes les variables de color (L*, a*, b*, H°, C*) s'incrementaven, d'acord també amb el descrit anteriorment per Chasco *et al.* (1995) en la raça Pirenaica. Als 15 dies de maduració, Insausti *et al.* (1999) observaren també com les diferències d'a* i lluminositat de la carn envasada al buit entre les diferents races es mantenien. Les races Asturiana de los Valles i Pirenaica presentaren el color més clar, essent la Morucha i la Parda Alpina les més fosques, mentre que la Rubia Gallega mostrà una L* intermèdia.

1.7.5. El greix intramuscular

El greix visible que s'observa a la matriu càrnia, l'anomenat marbrejat, vetejat o greix infiltrat, forma part del greix intramuscular de la carn. Segons la localització del greix intramuscular es pot distingir entre greix intercel·lular i greix intracel·lular. El primer correspon al greix intramuscular localitzat en grups d'adipòcits en el perimisi i l'endomisi, els embolcalls de teixit connectiu dels feixos de fibres musculars i de les

miofibril·les respectivament, i té principalment funcions de reserva. El greix intracel·lular es troba dins la cèl·lula muscular en forma de gotetes lipídiques (lípid per a la síntesi dels components cel·lulars), i com a constituents de les membranes (majoritàriament fosfolípids). Els components principals del greix intramuscular són els lípids neutres: majoritàriament, triacilglicèrids i, en menor proporció, mono- i diacilglicèrids, àcids grassos lliures, colesterol i èsters de colesterol. Un altre grup de lípids que també en formen part són els fosfolípids, constituents estructurals de les membranes cel·lulars (Lawrie, 1998b).

Depenent del mètode i el dissolvent utilitzat en l'extracció del greix intramuscular, s'obtenen diferents fraccions lipídiques. Així, l'extracció amb dissolvents poc polars (èter dietílic, hexà i èter de petroli) permet obtenir la fracció de lípids neutres, bàsicament triglicèrids, que són el major component del greix del vetejat. Per a l'obtenció dels lípids intramusculars totals, inclosos els fosfolípids, cal l'ús de dissolvents més polars (cloroform/metanol, 2:1) o bé una hidròlisi àcida prèvia. És important considerar les metodologies utilitzades en els treballs a l'hora de comparar resultats; segons Wood i Enser (1989) la relació aproximada entre els valors obtinguts amb el mètode amb hidròlisi àcida i el mètode sense hidròlisi àcida prèvia és al voltant d'1,2.

La quantitat de greix intramuscular és una característica molt important en la qualitat sensorial de la carn, en les propietats organolèptiques de tendresa, sucositat i flavor. És desitjable una certa quantitat de greix intramuscular a la carn per tal d'afavorir-ne les seves característiques sensorials; no obstant això, un excés és mal vist pel consumidor, el qual ho relaciona amb efectes negatius per a la salut (Beriaín i Lizaso, 1997).

Igual que en d'altres característiques de qualitat de la carn, el contingut de greix intramuscular ve determinat per diversos factors (raça, edat, alimentació) (Dikeman, 1990). El tipus metabòlic de fibra muscular es troba relacionat també amb el contingut de greix intramuscular, ja que aquest augmenta en incrementar-se l'activitat oxidativa del múscul (Calkins *et al.*, 1981; Leseigneur-Meynier i Gandemer, 1991; Vega-Warner *et al.*, 1999).

Tal i com s'observa en els pigments musculars, el contingut de greix intramuscular també augmenta amb l'edat dels animals (Lawrie, 1998b; Maltin *et al.*, 1998; Renand *et al.*, 1997). Renand *et al.* (1997) trobaren un increment del 0,66% del contingut de greix intramuscular en els vedells Charolais de 19 mesos respecte dels de 15 mesos d'edat. Maltin *et al.* (1998) observaren també un increment significatiu del contingut de greix intramuscular amb l'edat dels animals. Alhora trobaren que els vedells de l'encreuament

_Angus presentaven un contingut de greix intramuscular significativament superior als vedells _Charolais, mentre que no observaren un efecte significatiu de la dieta, si bé els animals alimentats amb una dieta basada en ordi mostraven una tendència a un major contingut de greix intramuscular que els de la dieta amb ensitjat.

Vestergaard *et al.* (2000b) observaren com el contingut de greix intramuscular era un 50% inferior en els músculs ST i LD dels vedells Frisons engreixats en extensiu en comparació amb els criats en intensiu. De la mateixa manera, els animals sacrificats a 460 kg presentaven un major contingut de greix intramuscular que els de 360 kg, independentment del tipus d'engreix.

En un estudi amb vedells mascles i femelles de la raça Bruna dels Pirineus i de l'encreuament Charolais _ Bruna i un pes canal de 250 kg, Font *et al.* (1997) descriuen uns percentatges de greix intramuscular del 2,30% en els animals de la Bruna i del 1,83% en els de l'encreuament.

D'altra banda, Sañudo *et al.* (1999), en un treball amb diverses races autòctones sacrificades a 460 kg de pes viu mitjà (120 vedells mascles), observaren com la raça Morucha presentava el major percentatge de greix intramuscular, amb un 4,05%, seguida per la Retinta (3,34%), l'Avileña (3,09%), la Parda Alpina/*Bruna* (2,84%), la Rubia Gallega (2,36%), la Pirenaica (2,1%) i finalment l'Asturiana amb el percentatge més baix (1,32%).

Campo *et al.* (1999) descriuen també en aquestes races autòctones (42 vedells mascles) uns continguts de greix intramuscular de 3,03% en la raça Parda Alpina/*Bruna dels Pirineus*, sense observar diferències significatives amb la Rubia Gallega (2,27%) i les races rústiques: Morucha (3,54%), Avileña (3,13%) i Retinta (2,98%), però significativament diferent de les races Pirenaica (1,78%) i Asturiana de los Valles (0,97%).

En un estudi amb les races Asturiana de la Montaña (AM, raça rústica) i Asturiana de los Valles (AV, raça de gran aptitud càrnia i amb animals *double-muscled*), Oliván *et al.* (1999) observaren com el múscul LT dels vedells AM presentava un contingut de greix intramuscular significativament superior al de l'AV (1,88 vs. 0,85%). D'altra banda, analitzant l'efecte del genotip (homozigot o heterozigot pel caràcter *double-muscled* o *culón*) en els animals de l'AV trobaren com els vedells heterozigots tenien també un contingut més elevat de greix intramuscular que els homozigots (1,33 vs. 0,42%).

1.8. QUALITAT SENSORIAL DE LA CARN

La qualitat organolèptica o sensorial de la carn ve determinada per diverses característiques de color, olor, flavor (aroma i sabor), textura i la manera com les percebem amb els nostres sentits al moment de consumir-la. La mesura o avaluació de la qualitat organolèptica de la carn s'estudia mitjançant l'anàlisi sensorial.

1.8.1. Introducció a l'anàlisi sensorial

L'anàlisi sensorial és una disciplina científica que mesura, analitza i interpreta les reaccions i sensacions humanes davant les característiques dels aliments, begudes i materials, així com també la manera en què aquestes són percebudes pels sentits de la vista, l'olfacte, el gust, el tacte i l'oïda (IFT Sensory Evaluation, 1975). La metodologia de l'anàlisi sensorial requereix la intervenció activa de l'home com a instrument de mesura i la utilització dels seus òrgans sensorials. Els factors fisiològics (edat, sexe, salivació, fatiga, alimentació, sacietat) i psicològics (poder de suggestió, expectatives errònies, grau de motivació) poden ser causa de gran variabilitat entre individus, la qual cosa obliga a realitzar una planificació acurada dels experiments.

Les proves o tests sensorials poden ser de tipus **hedònic** i de tipus **analític**. Mitjançant les proves hedòniques es mesura el grau d'acceptabilitat o preferència d'un producte; són valoracions subjectives i es realitzen normalment amb un **test de consumidors**.

En les proves analítiques es realitzen mesures objectives que habitualment descriuen diferències entre productes i en quantifiquen les característiques organolèptiques. En aquest tipus d'anàlisi s'utilitzen els **panels de degustadors entrenats**, els quals poden treballar en l'elaboració del **perfil descriptiu** del producte, o bé partint ja d'un perfil descriptiu previ. L'elaboració del perfil descriptiu inclou l'elecció i la definició clara dels **atributs** o descriptors més adients del producte (avaluació qualitativa), i la valoració de la seva intensitat (avaluació quantitativa), mitjançant una escala d'intensitat com a referència (per a cada atribut), de manera que en l'anàlisi tots els degustadors avaluen els mateixos atributs. Aquests atributs o descriptors corresponen a propietats d'aparença, olor, *flavor* (combinació de sabor i olor, per via retronassal) i textura.

L'anàlisi sensorial per part d'un panel de degustadors entrenat permet caracteritzar de manera qualitativa i quantitativa un producte, i en defineix les seves característiques

organolèptiques. En el cas de l'anàlisi sensorial de la carn, el grup d'atributs estaria format per tots els que descriuen característiques d'aparença (color, humitat, marbrejat o greix infiltrat), olor, flavor i textura (tendresa, sucositat, fibrositat, esmicolabilitat). L'anàlisi quantitativa es fa mitjançant l'avaluació de la intensitat o força amb què es perceben els atributs (Muñoz, 1998).

1.8.2. L'olor i el flavor

L'olor correspon a la percepció olfactiva de la carn abans d'introduir-la a la boca i ve determinada per un conjunt nombrós de compostos volàtils. El flavor engloba la barreja de sensacions d'aroma (olor) i sabor, textura, temperatura i pH, que hom percep en degustar el producte i és un aspecte molt important en la qualitat de la carn pel que fa a la seva acceptació per part del consumidor (Beriaín i Lizaso, 1997).

El flavor bàsic de la carn ve determinat pels compostos hidrosolubles del múscul (sucres, aminoàcids, pèptids i nucleòtids), comuns a totes les espècies animals, mentre que la fracció lipídica seria la responsable de les característiques de flavor i aroma particulars de cada espècie animal (Pearson i Young, 1989c).

Durant el procés de conversió del múscul en carn, i especialment durant la maduració (degradació de proteïnes i lípids), es produeix una intensificació del flavor. Campo *et al.* (1999) descriuen un increment de la intensitat del flavor global i el flavor de fetge al llarg del temps de maduració en un estudi amb set races espanyoles. Mitjançant l'anàlisi de components principals observaren com els components del flavor (global, àcid, fetge) estaven relacionats amb els majors temps de maduració, fent palesa la importància del període de maduració sobre les característiques sensorials de la carn.

La intensitat del flavor es desenvolupa també durant la cocció, a partir dels precursors solubles en el greix i en l'aigua que es troben a la carn crua, com a conseqüència d'una sèrie complexa de reaccions de degradació tèrmica entre sucres, aminoàcids i nucleòtids (destacant-ne les reaccions de caramelització o de Maillard). Tant els compostos volàtils preexistents a la carn com els que es generen durant la cocció juguen un paper important en el desenvolupament del flavor i molt especialment de l'olor (Lawrie, 1998a).

La fracció lipídica és molt important en el desenvolupament del flavor característic de cada tipus de carn (espècie animal) mitjançant reaccions d'oxidació induïdes per la

calor durant la cocció, les quals donen lloc a nombrosos compostos volàtils: hidrocarburs, aldehids, àcids, cetones, lactones, terpenoids, alcohols (Larick *et al.*, 1987). D'aquí que sigui molt important la composició en àcids grassos del greix, especialment la dels fosfolípids, rics en àcids grassos poliinsaturats, ja que aquests són més susceptibles d'oxidar-se. Per altra part, cal esmentar també que es poden produir oxidacions lipídiques en la carn fresca, prèvies a la cocció, durant la seva conservació, donant lloc a problemes de ranciessa de la carn (Cross, 1988).

Les carns vermelles, riques en pigments i lípids intramusculars, presenten una major intensitat de flavor que les carns blanques (Valin, 1988). L'augment de l'edat de l'animal està associat amb un increment de la intensitat del flavor i, en part, podria venir explicat pel major contingut de greix intramuscular dels animals més vells (Lawrie, 1998a). S'ha observat que el flavor de la carn s'incrementa en fer-ho el contingut de greix intramuscular; això no obstant, es produiria fins a un límit, que en el cas del vacum (múscul *longissimus*) es trobaria al voltant del 3,5%, a partir del qual fins i tot empitjoraria (Smith *et al.*, 1983). Factors com la raça, el sexe, l'edat i el tipus d'alimentació (nivell energètic de la dieta, tipus de farratges) afecten el flavor de la carn, principalment a causa de diferències en la quantitat i la composició del greix (Beriaín i Lizaso, 1997).

Tatum *et al.* (1990) estudiaren l'efecte de l'encreuament amb diverses races (Piemontesa, Gelbvieh i Red Angus) sobre les característiques sensorials de la carn. Observaren com els encreuaments amb _Piemontesa i _Red Angus presentaven una nota d'intensitat de flavor similar i superior als _Gelbvieh, si bé el contingut de greix intramuscular era significativament més baix en els encreuaments _Piemontesa.

Renand *et al.* (1997) descriuen una tendència a la millora del flavor amb l'edat dels animals, alhora que assenyalen el contingut de lípids com a la variable més important en el percentatge de variància explicada de l'atribut de flavor, en animals de la raça Charolais.

Albertí *et al.* (1995) trobaren que els vedells (races Pirenaica i Parda Alpina) alimentats amb un pinso amb una substitució parcial de cereals per gluten i mandioca, presentaven una carn amb una menor intensitat d'olor que els alimentats amb el pinso control.

Vestergaard *et al.* (2000b) observaren com els vedells de raça Frisona criats en intensiu presentaven un contingut de greix intramuscular més elevat i un sabor significativament més intens que els animals engreixats en extensiu. En canvi, Sinclair *et al.* (1998) no observaren cap efecte de la dieta (ordi *vs.* ensitjat), del genotip (_Angus *vs.* _Charolais) ni de l'edat de sacrifici sobre el flavor de la carn.

1.8.3. La tendresa i la sucositat

La tendresa és clarament el criteri més important en la palatabilitat (conjunt de les qualitats sensorials d'un aliment) de la carn de vacum, essent el factor fonamental que contribueix a la seva acceptabilitat per part del consumidor (Dumont, 1981).

La textura de la carn (principalment la tendresa i la sucositat) està condicionada tant per les característiques del complex actomiosina (proteïnes miofibril·lars) com per les del teixit connectiu (col·lagen). En les característiques miofibril·lars és molt important l'estat de contracció del múscul i, per tant, tot allò que afecta els canvis *post mortem*. La tendresa de la carn es veu afectada a nivell *post mortem* pel procés de conversió del múscul en carn: l'establiment del *rigor mortis* i la maduració posterior (vegeu apartat 1.7.2.). En el transcurs de la maduració de la carn tenen lloc les modificacions de la textura del múscul que fan que la carn sigui més o menys tendra (Valin, 1988). Diversos estudis descriuen increments de les notes de tendresa en augmentar el temps de maduració (Campo *et al.*, 1999; Huff i Parrish, 1993; Miller *et al.*, 1997; Silva *et al.*, 1999).

La sucositat de la carn cuïta ve determinada, d'una banda, per la sensació d'humitat a l'inici de la masticació, amb l'alliberament de suc de la carn i, de l'altra, per la continuïtat de la sucositat percebuda. Aquesta és deguda, a més de per la quantitat de líquid alliberat, pel contingut de greix de la carn, el qual estimula la salivació (Cross, 1988).

Així, la carn dels animals joves presenta una sucositat inicial que disminueix després a causa del menor contingut de greix. La quantitat de líquid alliberada en la masticació dependrà del contingut d'humitat del múscul i la seva capacitat de retenció d'aigua, així com de l'evolució d'aquests durant la conversió en carn i la seva conservació. Les pèrdues de suc durant la cocció de la carn són directament proporcionals a la manca de sucositat de la carn en degustar-la. La sucositat i la tendresa estan molt lligades, ja que com més tendra és una carn més fàcilment s'alliberen els sucus en mastegar-la i és percebuda com a més sucosa (Cross, 1988). Diversos autors (Campo, 1999; Destefanis *et al.*, 2000; Gregory *et al.*, 1995; More O'Ferrall *et al.*, 1989; Silva *et al.*, 1999) descriuen correlacions positives entre els atributs sensorials de tendresa i sucositat.

La duresa de la carn augmenta amb l'edat i estaria relacionada amb el teixit connectiu, ja que el col·lagen presenta una velocitat de recanvi (*turnover*) molt baixa. No obstant això, aquest increment de duresa amb l'edat no estaria associat a un increment del contingut de col·lagen intramuscular, ja que aquest més aviat tendeix a disminuir, però sí

a canvis en les propietats físiques del col·lagen, produint-se un increment de la seva insolubilitat (Sims i Bailey, 1981). Així, en vedells de 8-9 setmanes, el col·lagen intramuscular presenta una solubilitat del 22% en aigua calenta i aquesta disminueix fins al 12% en vedells de 10 mesos d'edat, essent només del voltant del 4% en les vaques velles (Hill, 1966). Aquest increment de la insolubilitat és un reflex de l'augment dels entrecreuaments (enllaços covalents) estables entre les molècules de tropocol·lagen (Sims i Bailey, 1981).

Les contribucions dels components miofibril·lars i de teixit connectiu en la textura de la carn s'estudien a partir de diversos mètodes físics. Així, les propietats mecàniques de la carn es mesuren instrumentalment mitjançant l'aplicació de forces paral·leles o perpendiculars a la direcció de les fibres musculars; en són exemples els tests de compressió (Lepetit i Culioli, 1994) i de cisallament (cèl·lula Warner-Bratzler) (Møller, 1980-81).

Hi ha nombrosos factors –com són l'espècie, la raça, el sexe, l'edat, l'alimentació i el tipus de múscul– que determinen les característiques de tendresa i sucositat de la carn. En diversos estudis s'ha observat que la carn dels bòvids de l'espècie *Bos indicus* i els seus encreuaments és menys tendra en comparació amb la dels animals *Bos taurus* (Crouse *et al.*, 1989; Norman, 1982; Whipple *et al.*, 1990), o també que la carn de l'espècie *Bos bison* (bisó americà) és més tendra que la de *Bos taurus* (Koch *et al.*, 1995).

Destefanis *et al.* (2000), en un estudi amb diverses races (Piemontesa normal i amb hipertròfia, Frisona i Blau Blanc Belga i encreuaments), descriuen correlacions negatives entre la tendresa i el contingut d'hidroxi prolina (col·lagen total), així com també amb les pèrdues en la cocció, mentre que observaren una correlació positiva entre la tendresa i el contingut de proteïna.

En un estudi que incloïa vedells de 15 genotips diferents i 4 edats de sacrifici (9, 12, 15 i 18 mesos), Riley *et al.* (1986) observaren un efecte de la raça, però no de l'edat, sobre la tendresa.

El metabolisme predominantment glicolític dels animals *double-musclèd* (Tatum *et al.*, 1990; Wegner *et al.*, 1997) afavoriria una major velocitat de maduració i donaria una carn amb una major tendresa inicial (Campo *et al.*, 1999). Tatum *et al.* (1990) observaren com el múscul LT dels vedells obtinguts d'encreuaments amb la raça Red Angus presentava el contingut de greix intramuscular més elevat i era significativament més

tendre que els encreuaments amb Gelbvieh, essent també més elevada la nota de sucositat, malgrat que les diferències per aquest atribut no foren significatives. Per altra part, els encreuaments amb Piemontesa (raça seleccionada pel gen del *double-muscled*), amb un contingut de greix intramuscular similar als _Gelbvieh presentaren una major nota de tendresa, similar a la dels _Red Angus.

Els animals de la raça Asturiana de los Valles (*double-muscled*) presentaren uns valors de tendresa més elevats a l'inici de la maduració que els animals de les races Pirenaica, Rubia Gallega, Parda Alpina (Bruna), Avileña-Negra Ibérica, Morucha i Retinta, segons Campo *et al.* (1999). No obstant això, en augmentar els dies de maduració, els valors de tendresa d'aquests animals (AV) foren comparativament més baixos.

Les diferències de precocitat entre races i sexes, i també l'alimentació, poden donar lloc a diferències en els continguts de col·lagen, nivells d'engreixament (a un mateix pes viu) i contingut de greix intramuscular o marbrejat de la carn, afectant la tendresa. Listrat *et al.* (1999) observaren com els músculs ST i LT dels vedells Salers alimentats amb farratge presentaven uns continguts de col·lagen total similars al dels engreixats amb ensitjat, mentre que el contingut de col·lagen soluble era superior. El múscul ST dels animals alimentats amb farratge fou avaluat com a més tendre però menys sucós, mentre que no observaren diferències significatives en l'LT, atribuint-ho al fet que aquest múscul presenta menors continguts de col·lagen i alhora aquest és més soluble que el de l'ST.

Crouse *et al.* (1985) trobaren que la carn dels mascles enters era avaluada com a menys tendra que la dels castrats i, per altra banda, la carn dels animals alimentats amb una dieta de baix contingut energètic era més tendra que la carn dels d'una dieta d'alt contingut energètic.

Albertí *et al.* (1995) observaren un efecte significatiu de la dieta sobre la tendresa de la carn de vedells de les races Pirenaica i Parda Alpina (Bruna). Independentment de la raça, els animals alimentats amb un pinso amb una substitució parcial de cereals per gluten i mandioca obtingueren una major nota de tendresa, encara que la valoració de la sucositat fou lleugerament inferior però sense ésser significativa. En canvi, Sinclair *et al.* (1998) no trobaren un efecte significatiu de la dieta (ordi *vs.* ensitjat), com tampoc del genotip (_Angus *vs.* _Charolais) ni de l'edat de sacrifici sobre la tendresa i la sucositat.

En un estudi amb vedells Charolais sacrificats a 15 i 19 mesos d'edat, Renand *et al.* (1997) observaren una disminució de la tendresa i la sucositat de l'LD en els animals més vells. Alhora trobaren també que el contingut de lípids contribuïa lleugerament i de

manera positiva en la nota de tendresa. Segons Vestergaard *et al.* (2000b), el múscul LT dels vedells criats en intensiu, amb un contingut superior de greix intramuscular, fou avaluat amb unes notes de tendresa i sucositat significativament més elevades que els animals engreixats en extensiu.

Diversos estudis han observat correlacions positives entre el percentatge de fibres oxidatives i la tendresa (Calkins *et al.*, 1981; Maltin *et al.*, 1998; Ockerman *et al.*, 1984), si bé d'altres no hi han trobat cap relació (Vestergaard *et al.*, 2000b; Whipple *et al.*, 1990), o bé han trobat correlacions negatives (Totland *et al.*, 1988) (vegeu el següent apartat 1.9.2.).

1.9. RELACIONS ENTRE LES FIBRES MUSCULARS I LA QUALITAT TECNOLÒGICA I SENSORIAL DE LA CARN

La qualitat de la carn de vacum presenta una gran variabilitat entre animals, així com també en un mateix animal entre els seus diferents músculs. Aquesta variabilitat s'observa en diversos paràmetres: continguts de mioglobina, de greix intramuscular, de col·lagen, tipus de fibres musculars, color, tendresa, sucositat. Hi ha nombrosos factors que contribueixen en aquesta variabilitat, com poden ser la raça, el genotip, el sexe, l'edat, la nutrició, el tractament abans del sacrifici i les condicions en les quals el múscul és transformat en carn (Calkins *et al.*, 1981; Maltin *et al.*, 1998; Seideman i Crouse, 1986; Vestergaard *et al.*, 2000a, 2000b). La variació en les característiques oxidatives, glicolítiques i propietats contràctils (tipus de fibres) del múscul de vacum, i les seves relacions amb les característiques de qualitat de la carn i les sensorials, han estat objecte d'estudi en diversos treballs.

1.9.1. Les fibres musculars i la qualitat tecnològica de la carn

L'estabilitat del color de la carn presenta una considerable variabilitat, tant a nivell d'espècies animals com també entre els diferents músculs. La carn de vedella té millor estabilitat del color que la carn de xai, la qual presenta una major velocitat de consum d'oxigen (Atkinson i Follet, 1973). En el vacum, el tipus de múscul és molt important pel que fa al descoloriment de la carn; així el múscul *longissimus* és més estable que el *psaos major* davant l'exposició a l'oxigen (Hood, 1980).

Renner i Labas (1987) assenyalen que l'estabilitat del color, així com el potencial d'oxidoreducció de la mioglobina, depenen en gran mesura del tipus de múscul. Els resultats aportats per aquests autors indiquen una relació entre el descoloriment de la carn i la composició dels tipus de fibres musculars, ja que el *tensor fasciae latae* (múscul blanc de contracció ràpida) presentà la millor estabilitat de color i, el *diaphragma medialis* (múscul vermell de contracció lenta) era el de color més inestable, mentre que el *psaos major* mostrà un comportament intermedi. Aquestes diferències de descoloració vindrien explicades per la relació inversa entre l'estabilitat del color i les característiques oxidatives del múscul: continguts de ferro hemínic i citocrom a(+a₃) i la velocitat de consum d'oxigen. D'aquesta manera, els músculs amb la menor estabilitat del color tindrien les activitats oxidatives més elevades. Així, els factors amb més influència sobre la velocitat de descoloriment i l'acumulació de metamioglobina (mioglobina oxidada)

serien: la velocitat de consum d'oxigen, l'autooxidació de la mioglobina i la velocitat de l'activitat reductora de la metamioglobina (Renerre i Labas, 1987).

En un treball amb animals de diferents encreuaments (Hereford o Angus _ Charolais o Simmental) sacrificats a 12 i 16 mesos d'edat, Seideman *et al.* (1986) observaren un color significativament més fosc en els músculs amb majors percentatges de fibres intermèdies i vermelles, mentre que els percentatges de fibres blanques estaven correlacionats positivament amb un color més clar. En canvi, Seideman i Crouse (1986) no trobaren correlacions significatives del color del múscul amb els tipus de fibres musculars, en un estudi amb vedells mascles enters i castrats de les races Angus i Simmental alimentats amb dues dietes (baixa i elevada energèticament) i sacrificats a 10 i 16 mesos d'edat. Per la seva part, Ozawa *et al.* (2000) trobaren correlacions positives entre el diàmetre de les fibres musculars βR i αR i la component vermella del color (a^*) en l'LT de vedells mascles castrats de la raça Negra Japonesa (Japanese Black).

Vestergaard *et al.* (2000a) observaren com el múscul LD dels vedells engreixats en sistema extensiu presentava un major percentatge de fibres tipus I, una millor irrigació i un potencial oxidatiu més elevat (amb una menor activitat LDH i major activitat CS) que els músculs dels vedells estabulats i engreixats en sistema intensiu. Els vedells en extensiu presentaren també un pH últim més elevat, una carn més fosca (L^* inferior) i un major contingut de pigments que els animals en intensiu, no obstant això, els valors de a^* foren significativament inferiors. Els autors relacionaren l'efecte del sistema de producció sobre les característiques de les fibres musculars amb les diferències quant a l'activitat física i el nivell d'alimentació.

En un estudi sobre 18 músculs de vacum, Monin (1981) descriu una relació inversa, globalment, entre l'activitat mATPasa (contracció ràpida) i el pH últim, de manera que els músculs amb major proporció de fibres vermelles tendrien a tenir un pH últim més elevat. En el mateix sentit, Young i Foote (1984) trobaren una correlació positiva en el múscul *splenius* entre el pH últim i el percentatge de fibres tipus I, però no observaren la mateixa relació en l'LT.

Calkins *et al.* (1981) trobaren, en bestiar vacum comercial, correlacions negatives entre el marbrejat i el percentatge de fibres αW (glicolítiques) del múscul LD, mentre que la capacitat oxidativa del múscul (fibres αR i βR) hi presentava correlacions positives. Ockerman *et al.* (1984), en un estudi amb vedells mascles enters i castrats de la raça Angus, no observaren correlacions significatives dels diferents tipus de fibres de l'LD amb el marbrejat de la carn, la sucositat ni la intensitat de flavor.

D'altra banda, Ozawa *et al.* (2000) observaren correlacions negatives del percentatge i l'àrea relativa de les fibres α R amb el marbrejat, el contingut de greix intramuscular i el pH últim i, positives amb les pèrdues en la cocció.

1.9.2. Les fibres musculars i la qualitat sensorial

A més de l'efecte dels tipus de fibres musculars sobre la qualitat tecnològica de la carn, és d'esperar que aquestes influeixin també en la seva qualitat sensorial. Les propietats contràctils i metabòliques del múscul afecten el metabolisme energètic en l'animal viu (Hocquette *et al.*, 1998); així, s'ha observat com la resposta a l'estrès és diferent depenent de si les fibres musculars són de contracció lenta o ràpida (Lacourt i Tarrant, 1985). De la mateixa manera, els tipus de fibres juguen també un paper molt important en el període *post mortem* de conversió del múscul en carn (Monin i Ouali, 1991; Valin, 1988). La velocitat de maduració és més elevada com més ràpid (activitats mATPasa i LDH elevades) i menys vermell (contingut baix de ferro hemínic i activitat citrat sintasa baixa) és el múscul, i més baix és el seu pH últim; és a dir, les fibres glicolítiques de contracció ràpida maduren més ràpidament que les de contracció lenta (Valin, 1988).

En el conjunt d'estudis revisats es pot observar com sovintegen els resultats contradictoris pel que fa a les relacions entre els tipus de fibres musculars i la tendresa, alhora que, són molt pocs els treballs que hem trobat que relacionen les fibres musculars amb l'aroma, el flavor i la sucositat. No obstant això, semblarien predominar els treballs en què la tendresa estaria relacionada positivament amb les fibres oxidatives. D'altra banda, desconeixem l'existència de cap treball en el qual s'estudiïn les característiques de les fibres musculars en races bovines autòctones espanyoles.

Diversos treballs assenyalen una relació positiva entre els continguts de fibres oxidatives i la tendresa de la carn en l'LD (Calkins *et al.*, 1981; Maltin *et al.*, 1998; Ockerman *et al.*, 1984; Strydom *et al.*, 2000). Aquests autors observaren correlacions positives entre la capacitat oxidativa del múscul i la tendresa i, negatives entre aquesta i les fibres glicolítiques. De la mateixa manera, Maltin *et al.* (1998) trobaren que la sucositat global estava també correlacionada positivament amb el percentatge de fibres oxidatives.

Contrastant amb aquestes observacions, Seideman *et al.* (1986), en l'LD, i Totland *et al.* (1988), en l'ST, descriuen una relació positiva entre les fibres blanques i la tendresa.

Vestergaard *et al.* (2000b) trobaren que l'LD dels vedells criats en extensiu (amb major percentatge de fibres tipus I i superior potencial oxidatiu, Vestergaard *et al.*, 2000a) presentava un menor contingut de greix intramuscular i era avaluat com a menys tendre que el dels animals engreixats en intensiu, malgrat tot, aquests autors no observaren correlacions significatives entre la tendresa i els tipus de fibres, ni entre aquesta i el greix intramuscular.

D'altra banda, Crouse *et al.* (1991), Renand *et al.* (1997) i Seideman *et al.* (1987) observaren correlacions negatives en l'LD entre l'àrea de les fibres musculars i la tendresa. A més, segons Renand *et al.* (1997), la tendresa augmentaria també en disminuir el contingut de col·lagen i augmentar-ne la solubilitat i el contingut de lípids.

Contràriament, Seideman i Crouse (1986) descriuen, en l'LD, un increment de la tendresa en augmentar l'àrea mitjana de les fibres musculars, així com també, un increment significatiu de la sucositat en fer-ho l'àrea de les fibres blanques. Segons aquests autors, les fibres vermelles estarien associades positivament amb la menor presència de flavors estranys.

Alguns autors han estudiat també les relacions entre la composició de les fibres musculars i la qualitat de la carn en espècies diferents de *Bos taurus*. Així, Whipple *et al.* (1990) observaren diferències significatives pel que fa a la tendresa del *longissimus* entre diferents encreuaments d'animals Sahiwal (*Bos indicus*) _Hereford i _Angus, si bé no trobaren diferències significatives en la composició dels tipus de fibres musculars. D'altra banda, Koch *et al.* (1995) van trobar que la carn de l'espècie *Bos bison* (bisó americà) era més tendra i tenia un flavor diferent que la de *Bos taurus* (bestiar boví); alhora, el bisó presentava un menor percentatge de fibres blanques, un major percentatge d'intermèdies que *Bos taurus*, mentre que no hi havia diferències pel que fa a les fibres vermelles.

2. OBJECTIUS

- ◆ L'objectiu principal d'aquesta tesi ha estat la caracterització de la raça bovina Bruna dels Pirineus respecte a:
 - la variabilitat de la raça en relació a la qualitat de la canal, la qualitat de la carn i les característiques bioquímiques del múscul *longissimus thoracis* (LT), per tal de disposar de la màxima informació que permeti avaluar objectivament el potencial d'aquesta raça.
 - les relacions entre les característiques bioquímiques i sensorials del múscul LT i les variables de qualitat de la canal i de la carn.

- ◆ Per altra part, s'ha estudiat l'efecte raça-sistema de producció sobre el color i les característiques bioquímiques del múscul LT en set races autòctones espanyoles de vacum de carn: *Asturiana de la Montaña*, *Asturiana de los Valles*, *Pirenaica*, *Bruna dels Pirineus*, *Avileña-Negra Ibérica*, *Morucha* i *Retinta*.

3. MATERIAL I MÈTODES

3.1. MATERIAL ANIMAL I MANEIG

La raça Bruna dels Pirineus

El material animal utilitzat en aquest estudi va constar d'un total de 74 vedells mascles de la raça Bruna dels Pirineus, provinents de 22 ramaders (**Taula 3.1**) i engreixats al llarg dels anys 1996-98 a la granja de Casa Barbats de Casserres de Berguedà.

Taula 3.1 Estructura de la mostra d'animals de la raça Bruna dels Pirineus.

Comarca	Ramaders	Toros	Vedells
Alta Ribagorça	3	≥ 3	6
Berguedà	3	8	18
Cerdanya	3	7	15
Osona	3	≥ 10	17
Pallars Jussà	5	8	8
Pallars Sobirà	5	8	10
Total	22	≥ 44	74

Els animals van ser deslletats amb una mitjana d'edat de 209 dies i, seguidament, entraren al període d'engreix, el qual va durar una mitjana de 171 dies. L'alimentació dels animals en el període d'engreix va ser *ad libitum*, amb una dieta exclusivament vegetal, a base de pinso concentrat i suplementada amb farratge. La composició del pinso d'engreixament s'indica a la **Taula 3.2**.

Taula 3.2 Composició del pinso d'engreixament dels vedells.

COMPONENT	
Proteïna bruta (%)	16,02
Extret eteri (%)	4,23
Fibra bruta (%)	5,00
UFC · kg⁻¹	1,05
Ca (%)	0,77
P (%)	0,46

UFC: unitats farratgeres de carn, Ca: calci, P: fòsfor.

Les races autòctones

En el Capítol III (p. 135) s'estudien el color i les característiques bioquímiques del múscul *longissimus thoracis* de set races bovines autòctones (inclosa la Bruna dels Pirineus) participants en el projecte *FAIR1_CT95_0702* (vegeu pròleg). El treball es va dur a terme al llarg de dos anys, amb un total de 478 vedells mascles, repartits en les diferents races de la manera següent: 70 animals de l'Asturiana de los Valles (**AV**), 70 de l'Asturiana de la Montaña (**AM**), 55 de la Pirenaica (**PI**), 74 de la Bruna dels Pirineus (**BP**, vegeu apartat anterior), 71 de l'Avileña-Negra Ibérica (**A-NI**), 70 de la Morucha (**MO**) i 68 de la Retinta (**RE**). Cal esmentar, però, el fet que en la raça Pirenaica només es van poder analitzar les mostres de 27 animals per a les característiques bioquímiques de les fibres musculars (LDH, ICDH i MHC I), ja que la resta de mostres es van malmetre a causa d'una descongelació accidental mentre estaven emmagatzemades.

Els vedells es van criar amb les seves mares en sistema extensiu fins a l'entrada del període d'engreix, entre els 5 i 7 mesos, depenent de la raça. L'alimentació durant l'engreix fou *ad libitum* i d'acord amb el sistema de producció característic de cada raça. Com a trets generals cal assenyalar que les dietes presentaven uns continguts de proteïna bruta i uns nivells energètics elevats (13,8-16% i 0,9-1,04 UFC·kg⁻¹, respectivament). Els ingredients utilitzats foren sempre d'origen vegetal i incloïen productes i subproductes de cereals (blat, ordi i/o blat de moro) i soja, complementant-ho amb palla o fenc *ad libitum*, tal i com es descriu en el treball de Gil *et al.* (2001).

3.2. CARACTERÍSTIQUES PRODUCTIVES

Els vedells es van pesar a l'inici del període d'engreix i es van anar repetint les pesades al llarg d'aquest període, a intervals regulars de 4 setmanes. A partir d'aquestes dades, es van calcular els increments de pes i el guany mitjà de pes diari (GMD) en kg · d⁻¹. La tarda abans del dia de sacrifici els vedells es van pesar a la granja i es van transportar a l'escorxador. Aquesta darrera pesada dels animals es va agafar com el pes viu de sacrifici (PVIU).

3.3. CARACTERÍSTIQUES DE QUALITAT DE LA CANAL

Els vedells de la Bruna dels Pirineus es van sacrificar a mesura que assoliren el pes viu (PVIU) previst d'uns 550 kg, aproximadament, d'acord amb el mercat de comercialització de la Denominació de Qualitat Vedella dels Pirineus Catalans. El sacrifici es va realitzar en dos escorxadors comercials diferents, l'any 1997 a l'Escorxador Comarcal del Bages (Polígon industrial de Bufalvent, Manresa, el Bages) i durant el 1998 a l'escorxador de l'empresa Mafrica, SA (Sant Joan de Vilatorrada, el Bages). Aquest canvi imprevist fou motivat per raons alienes al projecte. Els animals van ser atordits amb el sistema de pistola de tija perforant (*captive bolt*), penjats per una de les extremitats posteriors i degollats. Seguidament, i una vegada dessagnats, es van escorxar, se'n va eliminar els peus i el cap i se'n va fer l'evisceració.

Pes canal, rendiment i greix pelvià i renal

Com a pes de la canal (PCAN) es va anotar el pes de la canal calenta, sense retallar greix, amb els testicles i el greix pelvià i renal (DOCE núm. 1268/71 de 24/9/91). El rendiment de la canal en calent (RT) es va calcular a partir del pes viu de sacrifici i el pes de la canal:

$$RT (\%) = \frac{PCAN \text{ (kg)}}{PVIU \text{ (kg)}} \times 100$$

El greix pelvià i renal (GPR) es va expressar com a percentatge del pes de la canal calenta.

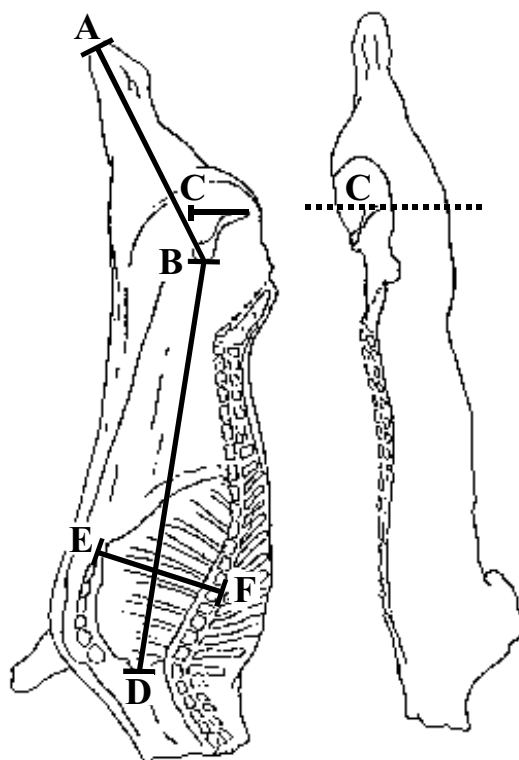
3.3.1. Mesures morfològiques de la canal

Les mesures de morfologia de la canal es van realitzar seguint les recomanacions de De Boer *et al.* (1974), a la mitja canal esquerra, amb una cinta mètrica i un peu de rei d'1,5 m. Els punts anatòmics de referència que determinen les diferents mesures realitzades es mostren a la **Figura 3.1** (p. 70).

Longitud de la canal

La longitud o llargada de la canal (LCAN, cm) correspon a la distància compresa entre la part anterior de la sínfisi isquiopubiana (Punt B) i el centre de la vora anterior aparent de la primera costella (Punt D) (Distància B-D de la **Figura 3.1**).

Figura 3.1 Punts anatòmics de referència en les mesures de morfologia de la canal.



A-B: longitud del pernil, **C**: punt de mesura del diàmetre o gruix màxim del pernil, **B-D**: longitud de la canal, **F-E**: profunditat interna del pit o amplada interna de la canal.

Font: modificat de Sañudo i Campo (1997).

Profunditat interna del pit

La profunditat interna del pit o amplada interna de la canal (cm) correspon a la distància compresa entre la vora inferior del canal medul·lar, a nivell de l'articulació de les vèrtebres dorsals cinquena i sisena (punt F), i la intersecció de la vora inferior del

cartílag esternal amb una línia imaginària que passa pel punt F i paral·lelament a la vora posterior de la cinquena costella (punt E) (Distància F-E de la **Figura 3.1**).

Longitud del pernil

La longitud del pernil (LPER, cm) correspon a la distància compresa entre el centre de la cara interna de l'articulació tarsometatarsiana (punt A) i la vora anterior de la sínfisi isquiopubiana (punt B) (Distància A-B de la **Figura 3.1**).

Diàmetre màxim del pernil

El diàmetre o gruix màxim del pernil (DMPER, cm) es va mesurar amb el peu de rei, mantenint-lo horitzontal i realitzant les mesures a partir del punt C (**Figura 3.1**) i en direcció caudal.

Índexs de compacitat de la canal i compacitat del pernil

A partir de les mesures anteriors es van calcular dos índexs de la canal, l'índex de compacitat de la canal: $ICCAN \text{ (kg}\cdot\text{cm}^{-1}) = \frac{PCAN \text{ (kg)}}{LCAN \text{ (cm)}}$ i l'índex de compacitat del

pernil: $ICPER = \frac{DMPER \text{ (cm)}}{LPER \text{ (cm)}}$.

3.3.2. Classificació de la canal

Un jutge entrenat va realitzar la classificació visual de la conformació i l'engreixament de les canals a partir de la mitja canal esquerra mitjançant el sistema comunitari de classificació.

Conformació de la canal

L'avaluació de la conformació de la canal es va fer utilitzant el patró comunitari de classificació per al vacum pesant de cinc classes: E, U, R, O, P, (**Figura 3.2**, p. 72), però amb una escala de puntuació de 15 punts (**Taula 3.3**, p. 73).

Figura 3.2 Patró comunitari de classificació per a l'avaluació de la conformació de les canals de vacum pesant (cinc classes: E, U, R, O, P).**E – Excel·lent**

Perfils:
convexos o superconvexos

Desenvolupament muscular:
excepcional

Cuixa: molt arrodonida

Llom: ample i molt gruixut fins a l'espatlla.

Espatlla: molt arrodonida

Crostó: sobresurt àmpliament de la símfisi pelviana

Filet: molt arrodonit

U – Molt bona

Perfils:
convexos en conjunt

Desenvolupament muscular:
gran

Cuixa: arrodonida

Llom: ample i gruixut fins a l'espatlla.

Espatlla: arrodonida

Crostó: sobresurt de la símfisi pelviana

Filet: arrodonit

R – Bona

Perfils:
rectilinis en conjunt

Desenvolupament muscular:
bo

Cuixa: ben desenvolupada

Llom: gruixut però menys ample a l'espatlla.

Espatlla: força desenvolupada

Crostó: lleugerament arrodonit

Filet: lleugerament arrodonit

O – Bastant bona

Perfils:
de rectilinis a còncaus

Desenvolupament muscular:
mitjà

Cuixa: desenvolupament mitjà

Llom: de gruix mitjà

Espatlla: de desenvolupament mitjà fins a quasi plana

Filet: rectilini

P – Mediocre

Perfils:
de còncaus a molt còncaus

Desenvolupament muscular:
reduït

Cuixa: poc desenvolupada

Llom: prim amb l'os aparent

Espatlla: plana amb l'os aparent

Font: Office des Publications Officielles des Communautés Européennes (Luxembourg)

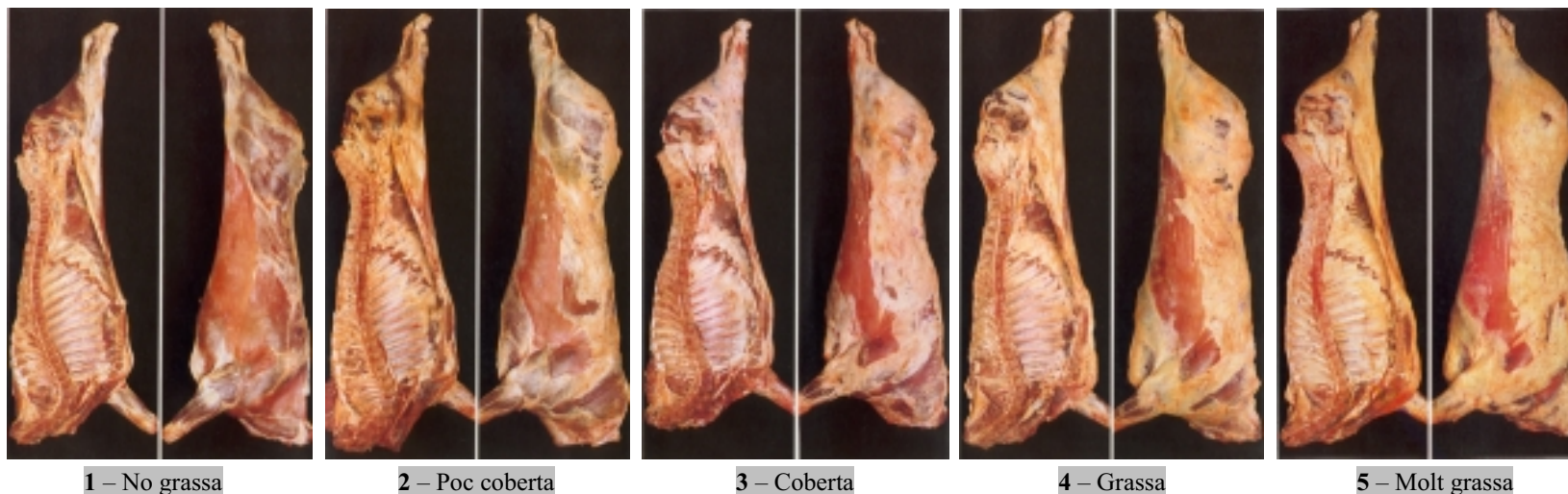
R (CEE) n° 1208/81

Taula 3.3 Sistema de classificació comunitari (cinc classes: E,U,R,O,P) i escala de puntuació utilitzada per a l'avaluació de la conformació de la canal de vacum pesant.

Sistema E.U.R.O.P.	Escala de puntuació	Grau de conformació de la canal
P-	1	canal molt poc conformada
P	2	
P+	3	
O-	4	
O	5	
O+	6	
R-	7	
R	8	
R+	9	
U-	10	
U	11	
U+	12	
E-	13	canal molt conformada
E	14	
E+	15	

Engreixament de la canal

L'avaluació del grau d'engreixament de la canal es va fer utilitzant el patró comunitari de classificació per al vacum pesant de cinc classes: 1, 2, 3, 4, 5, (**Figura 3.3**, p. 74), però amb una escala de puntuació de 15 punts (**Taula 3.4**, p. 75).

Figura 3.3 *Patró comunitari de classificació per a l'avaluació del grau d'engreixament de les canals de vacum pesant (cinc classes: 1, 2, 3, 4, 5).*

Exterior:
cobertura de greix inexistent o molt feble.

Interior:
sense greix a l'interior de la cavitat toràctica.

Exterior:
lleugera cobertura de greix, músculs força aparents arreu.

Interior:
els músculs intercostals són perfectament visibles a l'interior de la cavitat toràctica

Exterior:
músculs coberts de greix quasi arreu, excepte a la cuixa i a l'espatlla.

Interior:
petits dipòsits de greix a l'interior de la caixa toràctica; els músculs intercostals encara són visibles.

Exterior:
músculs coberts de greix però encara parcialment visibles a la cuixa i a l'espatlla. Venes de greix de la cuixa sobresortint.

Interior:
alguns dipòsits remarcables de greix a la cavitat toràctica; els músculs intercostals poden presentar infiltracions de greix.

Exterior:
tota la canal recoberta de greix, la cuixa està quasi totalment coberta per una capa gruixuda de greix de manera que les venes de greix són molt poc aparents.

Interior:
dipòsits de greix a l'interior de la cavitat toràctica i amb els músculs intercostals infiltrats de greix.

Taula 3.4 Sistema de classificació comunitari (cinc classes: 1, 2, 3, 4, 5) i escala de puntuació utilitzada per a l'avaluació del grau d'engreixament de la canal de vacum pesant.

Sistema 1.2.3.4.5.	Escala de puntuació	Grau d'engreixament de la canal
1-	1	canal molt poc grassa
1	2	
1+	3	
2-	4	
2	5	
2+	6	
3-	7	
3	8	
3+	9	
4-	10	
4	11	
4+	12	
5-	13	
5	14	
5+	15	

3.3.3. Dissecció de la sisena costella

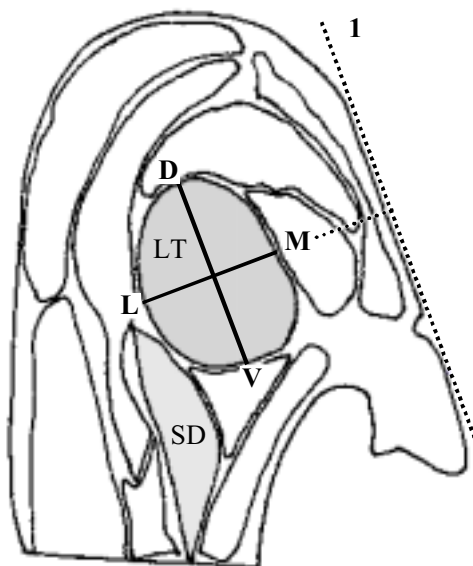
Per tal d'obtenir una estimació de la composició tissular de la canal, es va dur a terme la dissecció de la sisena costella, extreta de la mitja canal esquerra a les 24 hores *post mortem*, d'acord amb el mètode descrit per Robelin i Geay (1975a). La costella es va tallar a nivell del múscul *serratus dorsalis* (**Figura 3.4**, p. 76) amb un gruix de 4 cm, es va pesar i se'n va separar el múscul *longissimus thoracis*, el qual després d'anotar-ne el pes es va preparar per a l'anàlisi química. Les mostres amb la resta de la costella es van envasar al buit i es van congelar a -20°C fins al moment de la dissecció, en què es van descongelar amb aigua corrent. La dissecció es va fer amb bisturí, separant els diferents teixits en les 5 parts següents: el múscul o magre, l'os i el cartílag, el greix subcutani, el greix intermuscular i les deixalles (vasos sanguinis, lligaments, tendons i greix del canal medul·lar). Les pèrdues per descongelació i manipulació es van sumar al pes del múscul. Les diferents parts es van pesar i es van expressar com a percentatge del pes total de la

costella. El greix total dissectable es va calcular a partir dels percentatges de greix subcutani i intermuscular.

3.3.4. Mesura de l'àrea del llom

La morfologia del múscul *longissimus thoracis* (LT) es va dibuixar sobre la superfície de la setena costella (zona de tall entre la sisena i la setena), en un full de transparència (*ref. PP 2500, 3M Transparency Film*). En el mateix dibuix es va marcar també la línia mitjana corresponent a la zona de tall entre les dues mitges canals. Posteriorment, i prenent aquesta línia com a referència, es van dibuixar i mesurar el diàmetre màxim mediolateral (mm), perpendicular a la línia mitjana, (distància M-L a la **Figura 3.4**), i el diàmetre màxim dorsiventral (mm), paral·lel a la línia mitjana, (distància D-V, **Figura 3.4**). Per al càlcul de l'àrea de l'LT, es va retallar la morfologia del múscul i es va pesar amb una precisió de 1×10^{-4} g. L'àrea del múscul, expressada en cm^2 , es va calcular a partir del pes de l'àrea retallada i la densitat del paper.

Figura 3.4 Punts de mesura de la morfologia del múscul *longissimus thoracis*.



1: zona de tall entre les mitges canals, Distància **D-V**: diàmetre màxim dorsiventral, Distància **M-L**: diàmetre màxim mediolateral, LT: múscul *longissimus thoracis*, SD: múscul *serratus dorsalis*.

3.4. MESURES DE LA QUALITAT DE LA CARN

De la mitja canal esquerra se'n va agafar la part del llom (múscul LT) compresa entre la vuitena i l'onzena costella, es va envasar al buit i guardar en refrigeració a 4-5°C. Aquesta mostra de llom es va utilitzar posteriorment per a diferents anàlisis (mesures de color, contingut de col·lagen i anàlisi sensorial).

3.4.1. El pH muscular

El pH muscular es va mesurar amb un pH-metre portàtil CRISON i un elèctrode de penetració Xerolyt. Les mesures de pH es varen realitzar a les 24 hores *post mortem* (pH_U) en el centre del múscul LT, al nivell de la cinquena costella. Prèviament, s'havia mesurat el pH en la zona lumbar entre les vèrtebres catorzena i quinzena per tal d'identificar les possibles canals DFD (*Dark, Firm & Dry*) que presenten carns fosques, dures i eixutes i descartar-les de l'estudi. El setè dia després del sacrifici es va tornar a mesurar el pH (pH_{U7d}) al nivell de la vuitena costella en el tall de múscul destinat a les mesures de color i contingut de col·lagen.

3.4.2. Color del múscul LT i del greix subcutani

Per a la mesura objectiva del color del múscul LT es va utilitzar un espectrofotòmetre Minolta 2002. Les mesures es van fer en les coordenades de descripció del color CIE L*a*b* (CIE 1976) amb l'aparell en les següents condicions tècniques: sense incloure la component especular (reflexió especular), amb l'angle d'observador a 2° (respecte la vertical) i amb l'il·luminant estàndard CIE C (que representa la llum d'un dia ennuvolat, amb una temperatura de color de 6774 K).

La L* és la lluminositat o claredat del color, la a* correspon a la tendència al vermell mentre que la b* indica la tendència al groc. A partir dels valors de les coordenades de cromaticitat a* i b* es van calcular les coordenades cilíndriques H° i C* (CIE L*C*H°), mitjançant les fórmules següents (Artigas *et al.*, 1985; Wyszecki i Stiles, 1967):

$$H(^{\circ})_{a,b} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad C^*_{a,b} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

El *hue* (H°) és el matís o to del color (valor angular corresponent als diferents colors) i el croma (C*) correspon a la intensitat o grau de saturació del color.

Al cap de set dies després del sacrifici, de la mostra de llom envasada al buit i refrigerada a 4-5°C, se'n va tallar un filet de 3,5 cm de gruix (a nivell de la vuitena costella). Aquest tall es va col·locar en una safata de "poliexpan", deixant la superfície del múscul acabada de tallar de cara amunt per tal que s'oxigenés i cobrint la safata amb un film permeable a l'oxigen, sense tocar la mostra. Les mostres es van deixar 24 hores en refrigeració a 4-5°C, i una vegada transcorregut aquest temps, es va mesurar el color a la superfície del múscul, per quadruplicat.

El color del greix subcutani (L*a*b*) es va mesurar amb el colorímetre Minolta CR-200 (angle d'observador a 0°, component especular inclosa i il·luminant C) a nivell de la sisena i setena costella, sobre la superfície de la canal, en zones amb un gruix suficient, sense cops, bombolles d'aire ni taques de sang, i per quadruplicat.

3.4.3. Capacitat de retenció d'aigua i humitat

La determinació de la capacitat de retenció d'aigua (CRA) es va fer segons una modificació del mètode de pressió de Grau i Hamm (1953), descrit per Sierra (1973). El mètode es basa en la determinació de les pèrdues de líquid per la pressió exercida per un pes de 2,25 kg sobre uns 5 g de mostra. La CRA es va determinar en el múscul LT de la sisena costella (48 hores *post mortem* i conservat a 4-5°C). La mostra fresca es va picar mitjançant un mastegador manual, prèvia eliminació de restes de greix intermuscular, fàscies internes i vasos sanguinis, i es va col·locar centrada entre dues plaques de Petri invertides, entre dos papers de filtre (*ref. 500 Papelera del Besós, S.A.*), durant 5 minuts exactament. La CRA, expressada com a percentatge de pèrdues de líquid per pressió (PLP), es va calcular de la manera següent:

$$PLP (\%) = \frac{(\text{Pes mostra inicial} - \text{Pes mostra final})}{\text{Pes mostra inicial}} \times 100$$

El percentatge d'humitat del múscul LT es va determinar en la mostra fresca, picada amb un mastegador manual i preparada igual que per a la determinació de la CRA.

La determinació es va fer per dessecació a l'estufa a $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ durant 24 hores (mètode de referència ISO 1442-1973).

3.4.4. Composició química del múscul *longissimus thoracis*

En l'anàlisi de la composició química del múscul es van determinar els continguts de greix intramuscular total, proteïna i pigments hemo totals, a partir del múscul LT de la sisena costella. El múscul es va picar amb una picadora elèctrica (*Moulinex 320*) i es va repartir en bosses (opaques a la llum) per a les diferents anàlisis. Les mostres es van envasar al buit i es van congelar a -20°C fins al moment de l'anàlisi. Totes les anàlisis es varen fer per duplicat i les pesades amb una precisió de 1×10^{-3} g.

3.4.4.1. El greix intramuscular total

La determinació del contingut de greix intramuscular total del múscul LT es va realitzar a partir de 15,0 g de mostra amb una hidròlisi àcida prèvia (mètode de referència ISO 1443-1973). Es va filtrar el digerit amb un paper de filtre ($\varnothing 15$ cm, *ref. 500 Papelera del Besós, S.A.*) i es va deixar assecar a l'estufa a $102\pm 2^{\circ}\text{C}$. L'extracció de la fracció lipídica es va fer amb èter de petroli amb un aparell d'extracció contínua tipus Soxhlet. Després d'eliminar el dissolvent per destil·lació, el residu es va deixar a l'estufa a $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ durant 24 hores. Una vegada transcorregut aquest temps, es va pesar el residu i el contingut de greix intramuscular total (GRIN) es va expressar en percentatge.

3.4.4.2. Contingut de proteïna

La determinació del contingut de proteïna del múscul LT es va fer basant-se en el mètode Kjeldahl per a la quantificació del nitrogen total (mètode de referència ISO 937-1978). Es va realitzar la digestió en calent de 1,50 g de mostra amb àcid sulfúric concentrat, en presència de sulfat de coure II com a catalitzador, per transformar el nitrogen orgànic en ions amoni. Després de l'addició al digerit d'hidròxid de sodi al 30% en excés, l'amoníac es va destil·lar (*Büchi 315-Distillation Unit*) i es va atrapar en una solució d'àcid bòric al 4% amb un indicador. La quantificació del nitrogen total es va

determinar per valoració amb àcid clorhídric 0,25N. El contingut de proteïna de la mostra es va calcular a partir del percentatge de nitrogen obtingut de la manera següent:

$$\text{Nitrogen (\%)} = \left(\frac{\text{ml HCl} \times 35 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1} *}{\text{g mostra}} \right) \times 100$$

*: factor de conversió de HCl (ml) a Nitrogen (g).

$$\text{Proteïna (\%)} = 6,25 * \times \text{Nitrogen (\%)}$$

*: factor corresponent a l'invers del contingut en nitrogen de les proteïnes càrnies.

3.4.4.3. Els pigments hemo totals

El contingut de pigments hemo totals del múscul LT es va determinar segons el mètode de Hornsey (1956). L'extracció es va fer a partir de 5,0 g de mostra, amb 80% d'acetona àcida (20 ml acetona, 0,5 ml HCl al 35% i 1 ml H₂O_{dest}) en tubs de vidre i remenant amb una vareta de vidre. Els tubs amb els homogeneïtzats es van deixar tapats 24 hores a la nevera i, posteriorment, es van filtrar (Ø11 cm, ref. 500 *Papelera del Besós*, S.A.). L'absorbància del filtrat es va llegir a 512 i 640 nm, amb cubetes de quars de 0,5 ml amb tap de tefló i pas de llum de 10 mm (ref. *HELLMA 115-QS*), amb un espectrofotòmetre Shimadzu UV-240.

Per a l'estimació del contingut de pigments totals, Hornsey (1956) recomana llegir a ambdues longituds d'ona (512 i 640 nm) i el quocient entre elles (E₅₁₂/E₆₄₀) no hauria d'ésser major de 2,0 si l'oxidació dels grups nitrosohemo a hematina és completa. La concentració de pigments hemo totals es va expressar en µg d'hematina per g de múscul, mitjançant les fórmules següents:

λ= 512 nm

$$\text{Pigments hemo} = \frac{25 \text{ ml extret} \times 10^{-3} \text{ l} \times 652^{\#} \text{ g hematina} \times 10^6 \mu\text{g}}{9,52 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} * \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ ml} \times 1 \text{ mol} \times 1 \text{ g} \times 5 \text{ g múscul}} \times \text{DO} ;$$

$$\text{Pigments hemo} (\mu\text{g hematina} \cdot \text{g múscul}^{-1}) = 342,44 \times \text{DO}$$

*: coeficient d'extinció molar de l'hematina àcida en 80% d'acetona a 512 nm (Hornsey, 1956).

#: pes molecular de l'hematina àcida (652 uma)

DO: densitat òptica o absorbància

$\lambda = 640 \text{ nm}$

$$\text{Pigments hemo} = \frac{25 \text{ ml extret} \times 10^{-3} \text{ l} \times 652^{\#} \text{ g hematina} \times 10^6 \mu\text{g}}{4,8 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ ml} \times 1 \text{ mol} \times 1 \text{ g} \times 5 \text{ g múscul}} \times \text{DO} ;$$

$$\text{Pigments hemo} (\mu\text{g hematina} \cdot \text{g múscul}^{-1}) = 679,17 \times \text{DO}$$

** : coeficient d'extinció molar de l'hematina àcida en 80% d'acetona a 640 nm (Hornsey, 1956).

: pes molecular de l'hematina àcida (652 uma)

DO : densitat òptica o absorbància

En els resultats s'indiquen els valors de contingut de pigments obtinguts llegint l'absorbància a $\lambda = 512 \text{ nm}$.

3.4.4.4. Col·lagen total, col·lagen insoluble i col·lagen soluble

Les determinacions dels continguts de col·lagen total, col·lagen insoluble i col·lagen soluble es van fer a partir de la mateixa mostra de LT utilitzada per a la mesura del color del múscul. Se'n va eliminar prèviament mig centímetre de la part en contacte amb la safata i les fàscies perifèriques, es va picar, envasar al buit i congelar a -20°C fins a l'anàlisi.

La determinació del contingut de col·lagen total es va realitzar a partir de la determinació de l'hidroxirolina, segons el mètode de Bonnet i Kopp (1984). La mostra de carn es va sotmetre a una hidròlisi en medi àcid (HClO_4 70%) durant 4 hores a 100°C , per tal d'alliberar els aminoàcids de les proteïnes. La hidroxiprolina (Hyp) alliberada, aminoàcid característic del col·lagen, es va oxidar per l'addició de Cloramina T en medi àcid. Posteriorment, després d'addicionar PDAB (*p*-dimetilaminobenzaldehyd), la Hyp oxidada va reaccionar formant un compost colorat vermellós, el qual es va llegir a l'espectrofotòmetre a 558 nm i es va quantificar mitjançant una corba patró de Hyp. El contingut de col·lagen total es va expressar en mg de col·lagen per g de múscul, tal com s'indica a la fórmula següent:

$$\text{Col·lagen total} (\text{mg} \cdot \text{g múscul}^{-1}) = \frac{\left(\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1} \text{Hyp} \times 10^3 \text{ mg} \times \text{ml dil·lució} \times 8^* \right)}{1 \mu\text{g} \times \text{g múscul}}$$

* : factor de conversió d'hidroxirolina a col·lagen

La determinació del col·lagen insoluble es va realitzar seguint el mètode descrit per Hill (1966). La mostra es va digerir en tampó Tris-HCl en un bany a 90°C durant dues hores. El digerit es va filtrar i es va rentar amb tampó per eliminar-ne tot el col·lagen solubilitzat i es va deixar assecar a l'estufa a 100°C fins l'endemà. Posteriorment, es va seguir el mateix procediment utilitzat per a la determinació del col·lagen total. El contingut de col·lagen insoluble es va expressar en mg de col·lagen insoluble per g de múscul.

El contingut de col·lagen soluble (col·lagen solubilitzat en la digestió), es va calcular com a diferència entre el col·lagen total i el col·lagen insoluble, expressant-lo en percentatge.

3.5. CARACTERÍSTIQUES BIOQUÍMIQUES DEL MÚSCUL *LONGISSIMUS THORACIS*

Les mostres per a les anàlisis bioquímiques es van prendre del centre del múscul LT al nivell de la setena costella a les 24-26 h. *post mortem*. Amb un bisturí es van tallar cubs de múscul de 4 mm de costat, aproximadament. Els cubs de múscul es van anar congelant per immersió directa en nitrogen líquid i, una vegada congelats, es van col·locar dins de *criotubs* (ref. *Polylabo Nunc 13154*). Durant el transport fins al laboratori, els *criotubs* es van mantenir en nitrogen líquid i, posteriorment, es van guardar a -80°C fins a l'anàlisi.

3.5.1. Determinació del percentatge de miosina MHC I (fibres musculars tipus I) mitjançant el mètode d'ELISA

La quantificació del percentatge de miosina MHC I (específica de les fibres musculars de tipus I, anomenades també vermelles o lentes) es va realitzar mitjançant el mètode d'ELISA (*enzyme-linked immunosorbent assay*), utilitzant un anticòs monoclonal específic per a la cadena pesant de la miosina lenta, la isoforma MHC I, segons descriuen en el seu treball Picard *et al.* (1994). El primer anticòs antimiosina és reconegut per un segon anticòs conjugat amb l'enzim fosfatasa alcalina. La fosfatasa alcalina hidrolitza el

substrat *p*-nitrofenilfosfat donant lloc a un compost soluble de color groc. Mitjançant un espectrofotòmetre es llegeix l'absorbància del compost a 405 nm, permetent així la quantificació del percentatge de la isoforma MHC I present a la mostra.

3.5.1.1. Preparació dels extrems de múscul

Per a la preparació dels extrems per a l'ELISA es van pesar (amb una precisió de 0,1 mg) uns 200 mg de múscul LT (congelat a -80°C) en un tub de centrífuga (*ref.* *16ml-Round Centrifuge Tube PPCO, NALGENETM*). El múscul es va homogeneïtzar en 3 ml de tampó: Tris 50 mM, NaCl 0,5 M, pirofosfat de sodi 20 mM, EDTA 1 mM i DTT 1 mM, amb un aparell Ultra-Turrax (model T25, Janke & Kunkel GmbH & CoKG, IKA-Labortechnik, Stafen, Alemanya) i pal homogeneïtzador (model S 25N-10C) durant uns 20 s a 13.500 rpm. Durant tot el procés es va mantenir el tub en gel. El pal homogeneïtzador es va netejar amb 7 ml més de tampó fins a obtenir un volum final en el tub de 10 ml. Els homogeneïtzats es van deixar reposar 10 min en gel i, posteriorment, es van centrifugar a 2.500g durant 10 min a 4°C (centrífuga model Centrikon H-401, Kontron-Hermle, 5.000 rpm, rotor Kontron A24.24). Es van recuperar 1,5 ml del sobrenedant i s'hi va afegir 1,5 ml de glicerol 97% (MERCK, 50%, v/v). Es va barrejar bé i es va congelar en dues alíquotes a -20°C per un temps màxim d'un mes.

3.5.1.2. Determinació de la concentració de proteïna dels extrems mitjançant el mètode de Bradford

La concentració de proteïna dels extrems es va determinar segons el mètode de Bradford (1976), mitjançant el reactiu *Bio-Rad Protein Assay (BIO-RAD Laboratories GmbH)* i una dissolució de $1\text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ d'albumina de sèrum boví (BSA, *Sigma*) com a patró estàndard. Per a l'assaig de quantificació es va preparar, per duplicat, una corba estàndard amb 0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, $1\text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ de BSA. La determinació de la concentració de proteïna dels extrems es va fer per triplicat, agafant 40 μl i completant el volum fins als 100 μl amb el tampó d'extracció. Després d'afegir 5 ml del reactiu *Bio-Rad* (diluït 1:5 amb $\text{H}_2\text{O}_{\text{destil·lada}}$) i transcorreguts 15 min es va llegir l'absorbància a l'espectrofotòmetre (model Shimadzu UV-240) a una longitud d'ona de 595 nm, amb cubetes de quars de 3 ml i 10 mm de pas de llum (*ref.* *HELLMA, 100.600-QG*).

3.5.1.3. Assaig ELISA

Prèviament a l'assaig, i amb un màxim d'una setmana d'antelació, es va determinar la concentració de proteïna dels extrems de múscul mitjançant el mètode de Bradford (1976). Una vegada coneguda la concentració proteica de cada extrem, aquests es van diluir fins a una concentració de $2,4 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de proteïna (proteïna miofibril·lar equivalent a $1,2 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de miosina) en tampó de dilució de mostres TBS: 0,1 M TrisHCl i 2,5 M NaCl (pH 7,4), diluït 1:5 amb $\text{H}_2\text{O}_{\text{destil·lada}}$ freda. Durant tot el procediment es van mantenir sempre els tubs, els reactius i els extrems en gel.

Per tal d'escollir les dilucions de treball més adients es van fer unes proves amb diferents dilucions dels dos anticossos i amb diferents concentracions d'MHC I, de manera que el valor d'absorbància (DO) per al 100% d'MHC I es trobés entre 1,5 i 2,0 ua. Les dilucions provades pel primer anticòs foren: 1:1, 1:10 (dilució recomanada de treball), 1:25 i 1:50. D'acord amb els resultats obtinguts es va escollir treballar amb la dilució recomanada 1:10. Per al segon anticòs, les dilucions provades foren: 1:250, 1:500 (dilució recomanada de treball) i 1:1000, escollint finalment treballar amb una dilució 1:300.

1. Preparació de la corba estàndard d'MHC I

Es va preparar una corba estàndard de la isoforma MHC I a partir dels músculs *masseter* (M) i *cutaneus trunci* (CT) bovins, els quals presenten unes característiques extremes. El *masseter* és un múscul vermell i lent en els remugants i conté predominantment fibres del tipus I (Ouali *et al.*, 1988, Picard *et al.*, 1994; Talmant *et al.*, 1986). Per altra part, el *cutaneus trunci* és un múscul blanc amb fibres predominantment del tipus II (Holmes i Ashmore, 1972; Picard *et al.*, 1994; Swartz *et al.*, 1993). Així doncs, hom pot considerar que contenen 100% MHC I i 0% MHC I, respectivament (Picard *et al.*, 1994; Young i Davey, 1981). La corba estàndard d'MHC I es va preparar a partir dels extrems de M i CT (prèviament ajustats a $2,4 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de proteïna) barrejant-ne les quantitats adients per tal d'obtenir les següents proporcions: 0%, 6%, 12%, 25%, 40%, 50%, 60%, 75%, 100% d'MHC I.

2. Fixació de l'antigen

La fixació de l'antigen es va fer dipositant 50 μl de mostra a cada pou de la placa de microtitulació de fons pla (*ref. F96 MAXISORP, NUNC-IMMUNO PLATE*). La distribució dels pous a cada placa va ser la següent: dos pous per al blanc, els següents

(per duplicat) correspongueren a la corba estàndard d'MHC I i, finalment, a la resta de pous (per triplicat) s'hi dipositaren les mostres a analitzar. La placa amb l'antigen es va deixar incubar fins a l'endemà a 4°C embolicada amb paper d'alumini. Al dia següent la placa es va rentar cinc vegades amb 200 µl/pou de tampó TB2: 0,2 M TrisHCl, 1,2 M NaCl (pH 7,4) i 0,1% de Tween 20 i diluït 1:2 amb H₂O_{destil·lada}. Els rentats es van fer amb un rentador de plaques (model µ-Washer DG-34, Diagnostic Grifols, SA, Barcelona). Per al bloqueig dels llocs d'unió inespecífics es van afegir a cada pou 100 µl de tampó TB2 (diluït 1:10 amb H₂O_{dest.}) amb un 0,1% de Tween 20 i un 10% de llet descremada en pols. La placa es va deixar 30 min a Ta ambient tapada amb paper d'alumini. A continuació, es van fer cinc rentats més amb 200 µl/pou de tampó TB2 (diluït 1:2 i 0,1% Tween 20).

3. Fixació del primer anticòs

Per al reconeixement específic de la cadena pesant de la miosina lenta, isoforma MHC I, es va utilitzar l'anticòs monoclonal F36.5B9 (Biocytex, Alexis Corporation), isotip ratolí IgG2A que reconeix la unió S1/S2 de la cadena pesant β de la miosina lenta del ventricle humà (primer anticòs, antimiosina). A cada pou es van aplicar 50 µl del primer anticòs, diluït 1:10 en tampó PBS: 138 mM NaCl, 2 mM KCl, 9 mM Na₂HPO₄·2 H₂O i 1 mM KH₂PO₄ (pH 7,4) i 10% de llet descremada. La placa es va deixar incubar durant 1 h i 30 min a 37°C, tapada i en un recipient humit per evitar-ne la dessecació. Després de la incubació es van fer dos rentats amb 200 µl/pou de tampó PBS amb 0,1% de Tween 20.

4. Fixació del segon anticòs

Com a segon anticòs, per al reconeixement de l'antimiosina, es van utilitzar fragments Fab *Anti-mouse Ig-*Ap**, obtinguts a partir d'IgG d'ovella per digestió amb papaïna i conjugats amb l'enzim fosfatasa alcalina, (Boehringer Mannheim Biochemica). Es van aplicar a cada pou 50 µl del segon anticòs diluït 1:300 en tampó PBS i 10% de llet descremada i es va deixar incubar la placa durant 1 h i 30 min a 37°C (tapada en un recipient humit). Després de la incubació amb el segon anticòs es van fer cinc rentats amb tampó 200 µl/pou de PBS amb 0,1% de Tween 20, seguits de dos rentats més amb 200 µl/pou de 1,5 M NaCl i, finalment, es va assecar molt bé la placa.

5. Revelatge i lectura de la placa de microtitulació

Per al revelatge de la placa s'afegiren a cada pouet 50 µl de *p*-nitrofenilfosfat (SIGMA BIO SCIENCES™) diluït a 1 mg·ml⁻¹ amb una solució de dietanolamina al 9,7% (v/v) ajustada a pH 9,8 amb HCl 1M i es va deixar incubar 45 min a 37°C en un recipient tapat i humit. La reacció es va aturar afegint 50 µl de 1M NaOH a cada pou i es va llegir l'absorbància a 405 nm amb un lector de plaques DiaMedix (BP-96 Microassay Reader, Diamedix Corporation, Florida, USA).

El percentatge de la isoforma MHC I del múscul LT es va calcular per interpolació amb la corba patró obtinguda en cada placa mitjançant l'ajust d'una equació quadràtica ($y = A + Bx + Cx^2$) amb el programa Softmax® (*Version 2.35 for Windows™*, Molecular Devices, Software for MAXline™ Microplate Readers).

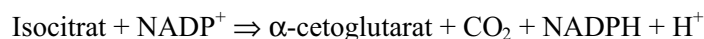
3.5.2. Determinació de les activitats enzimàtiques lactat deshidrogenasa i isocitrat deshidrogenasa

L'activitat glicolítica del múscul LT es va mesurar mitjançant la determinació de l'activitat de l'enzim lactat deshidrogenasa (LDH, EC 1.1.1.27), característic del metabolisme anaerobi. La LDH catalitza la reacció de transformació del piruvat a lactat:



Per espectrofotometria es mesura la desaparició del cofactor de la reacció, el NADH, i es llegeix la disminució de l'absorbància a 340 nm.

L'activitat oxidativa de l'LT es va determinar mitjançant l'activitat de l'enzim isocitrat deshidrogenasa (ICDH, EC 1.1.1.42), característic del metabolisme aerobi, en els mitocondris. La ICDH catalitza la reacció de transformació de l'isocitrat a α-cetoglutarat:



L'activitat enzimàtica es mesura per espectrofotometria seguint l'increment d'absorbància a 340 nm que s'observa a causa de la formació de NADPH.

3.5.2.1. Preparació dels extrems de múscul i determinació de la concentració de proteïna

L'obtenció dels extrems per a la mesura de les activitats enzimàtiques es va realitzar igual que per als de l'ELISA (vegeu l'apartat 3.5.1.1.), però homogeneïtzant el múscul en 3 ml de tampó: 140 mM sacarosa i 50 mM trietanolamina (pH 7,5), durant uns 20 s i mantenint el tub en gel. Els homogeneïtzats es van centrifugar a 6.000g (8.000 rpm, rotor Kontron A24.24) durant 15 min a 4°C. El sobrenedant es va filtrar amb llana de vidre i es va repartir en dues alíquotes, les quals es van congelar a -20°C i es va guardar fins a 7 dies com a data màxima d'anàlisi.

La concentració de proteïna dels extrems també es va determinar pel mètode de Bradford (1976), tal com s'ha descrit per a l'ELISA (vegeu l'apartat 3.5.1.2.), però prenent 30 µl d'extret, a causa de la seva major concentració proteica, i completant el volum fins als 100 µl amb el corresponent tampó d'extracció.

3.5.2.2. Mesura de les activitats LDH i ICDH

La mesura de l'activitat glicolítica del múscul (LDH) es va realitzar segons descriu Ansay (1974), i l'activitat oxidativa (ICDH) segons Briand *et al.*, (1981). Ambdues activitats enzimàtiques es van mesurar a partir del mateix extret i el mateix dia. Prèviament a les anàlisis de les mostres, es van determinar les concentracions dels substrats i les dilucions de les mostres més adients per a cadascuna de les activitats enzimàtiques, de manera que la determinació es fes en la zona de linealitat.

Activitat lactat deshidrogenasa

La composició del medi de reacció per a l'activitat LDH fou: 50 mM trietanolamina, 5 mM EDTA, 1,2 mM piruvat, 0,24 mM NADH i ajustat a pH 7,5 (Ansay, 1974). Els assaigs es van fer per triplicat a partir de l'extret guardat a -20°C, prèvia dilució 1:30 amb tampó d'homogeneïtzació: 140 mM sacarosa i 50 mM trietanolamina (pH 7,5), a causa de l'elevada activitat LDH que presentaven els extrems. Els reactius es van mantenir en un bany a 28°C i les mostres, en gel. Les mesures es van fer amb un espectrofotòmetre Shimadzu UV-240 amb cubetes de quars de 3 ml i 10 mm de pas de llum (*ref. HELLMA, 100.600-QG*).

La cinètica de la reacció es va obtenir mitjançant el programa No.1 del *Rate Assay Mode* (Shimadzu Option Program/Interface OPI-2), amb les següents condicions: temps d'espera de 5 s i lectura cada 15 s durant 1 min i 15 s. A partir del pendent de la recta de regressió de la cinètica enzimàtica es va obtenir la velocitat de reacció enzimàtica LDH: velocitat de desaparició del NADH (cofactor que reacciona en proporció equimolar). La velocitat de reacció es va expressar com a activitat LDH en $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g m\acute{u}\text{s}\text{c}\text{u}\text{l}}^{-1}$:

$$\text{Activitat LDH} = \frac{\Delta DO_{340} \text{ ua} \cdot \text{min}^{-1} \times 3 \text{ ml}_{\text{cubeta}} \times 30_{\text{dil.lucio}} \times 3 \text{ ml}_{\text{homogenat}}}{6,22 \times 10^3 \text{ ua} \cdot \text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \times 1 \text{ cm} \times 50 \mu\text{l}_{\text{extret}} \times \text{g m\acute{u}\text{s}\text{c}\text{u}\text{l}}};$$

En els resultats, l'activitat enzimàtica es presenta també normalitzada per la corresponent concentració de proteïna ($\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) de l'extret:

$$\text{Activitat LDH } (\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g m\acute{u}\text{s}\text{c}\text{u}\text{l}}^{-1}) \times (\text{mg}\cdot\text{ml proteïna}^{-1})^{-1}$$

Activitat isocitrat deshidrogenasa

La composició del medi de reacció per a l'activitat ICDH fou: 38,9 mM $\text{Na}_2\text{HPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,5 mM $\text{MnCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,5% Triton X100, 1,38 mM isocitrat de trisodi, 0,36 mM NADP^+ i ajustat a pH 7,3 (Briand *et al.*, 1981). L'assaig de l'activitat ICDH es va realitzar per triplicat a partir de la mateixa alíquota d'extret utilitzada per a l'activitat LDH i sense diluir. Després d'addicionar la mostra al medi de reacció es va deixar incubar en un bany a 28°C durant 3 min abans de realitzar les lectures. Transcorregut aquest temps, es va llegir l'absorbància a temps 0 i 3 min.

La velocitat de reacció ICDH es va obtenir a partir de la cinètica enzimàtica, com a velocitat de formació de NADPH (cofactor de reacció equimolar) i es va expressar en $\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g m\acute{u}\text{s}\text{c}\text{u}\text{l}}^{-1}$ (1), així com també normalitzada per la concentració de proteïna de l'extret (2):

$$(1) \text{ Activitat ICDH} = \frac{\Delta DO_{340} \text{ ua} \cdot \text{min}^{-1} \times 3 \text{ ml}_{\text{cubeta}} \times 3 \text{ ml}_{\text{homogenat}}}{6,22 \times 10^3 \text{ ua} \cdot \text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \times 1 \text{ cm} \times 200 \mu\text{l}_{\text{extret}} \times \text{g m\acute{u}\text{s}\text{c}\text{u}\text{l}}};$$

$$(2) \text{ Activitat ICDH } (\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g m\acute{u}\text{s}\text{c}\text{u}\text{l}}^{-1}) \times (\text{mg}\cdot\text{ml proteïna}^{-1})^{-1}$$

3.6. ANÀLISI SENSORIAL DE LES MOSTRES DEL *LONGISSIMUS THORACIS* DE LA RAÇA BRUNA DELS PIRINEUS

L'anàlisi sensorial de les mostres de LT dels vedells de la raça Bruna dels Pirineus es va realitzar separatament per a cadascun dels dos anys de l'estudi. Es van avaluar un total de 69 animals, 35 el primer any i 34 el segon, d'acord amb un disseny que incloïa 4 races en total (**Taula 3.5**), la Bruna i tres races més de les que formaren part del projecte europeu (*FAIR1_CT95_0702*) en el qual s'emmarca aquesta tesi.

3.6.1. Entrenament del grup de panelistes

Els panelistes o degustadors són les persones que realitzen l'avaluació sensorial de les mostres. Han de ser persones suficientment preparades, per la qual cosa es fa una selecció i entrenament previ. L'avaluació final de les mostres es va fer amb un panel format per 10 panelistes entrenats segons les normes ISO-8586. Els deu panelistes van fer unes sessions prèvies d'entrenament per tal de preparar-se per a l'avaluació de mostres de carn. Aquestes sessions van consistir en:

- entrenament amb diferents escales de referència: sucositat, duresa, tendresa i fibrositat, mitjançant diversos productes
- avaluació de mostres de carn de diferents espècies animals (porc, pollastre, vedella, conill i xai), així com també de diferents músculs

En aquestes sessions es va entrenar el reconeixement de les diferents espècies, així com les seves característiques de textura, quantificant-ne també la intensitat dels atributs: sucositat, duresa/tendresa i fibrositat.

3.6.2. Elaboració del perfil sensorial de la carn de vedella

Una vegada finalitzat l'entrenament bàsic, es va fer una prova de generació de descriptors per a la carn de vedella amb mostres de llom amb diferents temps de maduració. Amb aquesta prova es pretenia trobar el màxim nombre de descriptors que caracteritzessin la carn de vedella consensuats entre tots els panelistes. Com a referència es va partir del perfil sensorial de carn de vedella elaborat per Font *et al.* (1995, 1997). Els descriptors amb els quals es va treballar foren els següents:

- atributs d'olor: metàl·lic, fetge, vedella, ranci i orina

- atributs de *flavor*: vedella, metàl·lic, sang, fetge, ranci i àcid
- atributs de textura: duresa, tendresa, sucositat inicial, esmicolabilitat, fibrositat i sucositat final

Els atributs de *flavor* fan referència, bàsicament, a la combinació de sabor i olor o aroma (via retronassal) que hom percep durant l'avaluació d'un producte.

Taula 3.5 Disseny de l'anàlisi sensorial amb número de mostra avaluada per a cada panelista, sessió i raça.

Sessió	Panelista										Raça
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
S1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R1
S2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	R2
S3	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	R3
S4	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	R4
S5	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	R1
S6	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	R2
S7	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	R3
S8	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	R4
S9	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	R1
S10	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	R2
S11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R3
S12	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	R4
S13	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	R1
S14	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	R2
S15	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	R3
S16	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	R4
S17	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	R1
S18	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	R2
S19	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	R3
S20	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	R4
S21	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R1
S22	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	R2
S23	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	R3
S24	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	R4

R2: Bruna dels Pirineus

Els descriptors que finalment es van incloure en l'anàlisi sensorial de carn de vedella foren els següents: olor de vedella, olor de fetge, flavor de vedella, flavor de fetge, tendresa i sucositat.

3.6.3. Preparació i anàlisi de les mostres

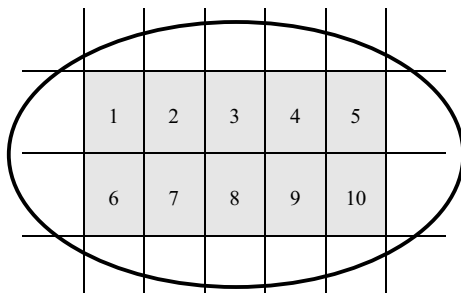
Les mostres per a l'anàlisi sensorial es van agafar del tall de llom que s'havia envasat al buit i guardat en refrigeració a 4-5°C (vegeu l'apartat 3.4.). Set dies després del sacrifici, de la zona compresa entre la desena i la onzena costelles, se'n van tallar dos filets de 2 cm de gruix, els quals es van envasar al buit i es van deixar madurar durant 7 dies més a 4-5° C. Després de 14 dies de maduració, els filets es van congelar a -20°C fins a l'avaluació. Cada any, les mostres es van avaluar en un total de sis sessions (**Taula 3.5**), d'acord amb el disseny prèviament establert (Guerrero, 2001).

El dia abans de cada sessió d'avaluació sensorial es van agafar 6 filets a l'atzar i es van deixar descongelar a 4-5°C durant 24 hores. Una vegada descongelats els filets, se'n va eixugar el líquid superficial i es van pesar. Sense afegir-hi sal ni cap altre additiu es van embolicar amb paper d'alumini i es van identificar amb un número aleatori de 3 xifres. La cocció es va realitzar en un forn de convecció (model Combi 10, NOVO SIR SA, L'Hospitalet de Llobregat) preescalfat a 200°C i fins que les mostres van assolir una temperatura interna de 70°C. El control de la temperatura interna de les mostres es va fer amb una sonda tipus termoparell crom-alumini i un aparell d'adquisició de dades Data Logger KM 1420 (Kane-May Limited, Hertfordshire, Anglaterra). Una vegada cuits, els filets es van pesar de nou per calcular-ne les pèrdues en la cocció:

$$\text{Pèrdues en la cocció (\%)} = \frac{(\text{Pes filet}_{\text{descongelat}} - \text{Pes filet}_{\text{cuit}})}{(\text{Pes filet}_{\text{descongelat}})} \times 100$$

A causa de l'heterogeneïtat de la carn i la possible influència de la part del filet que s'avaluava es va adoptar el sistema de tallat i numeració de les mostres tal com s'indica a la **Figura 3.5** (p. 92). Així, en una mateixa sessió cada panelista va provar sempre el tall corresponent a la mateixa posició (**Taula 3.5**) per tal d'intentar corregir les diferències que hi poguessin haver al llarg del filet. Cada mostra (porció de filet) es va embolicar amb paper d'alumini, es va identificar amb el mateix número del filet sencer i es va col·locar en un aparell amb bany de sorra a 60±2°C per tal de mantenir la mostra calenta fins al moment de la degustació (Guerrero, 2001).

Figura 3.5 Esquema del tallat del filet per a l'obtenció de les mostres per a l'avaluació sensorial.



L'avaluació de les mostres es va fer utilitzant una escala de puntuació no estructurada de 10 punts, on el valor 0 corresponia a gens d'intensitat de l'atribut i el valor 10, al màxim d'intensitat de l'atribut (**Figura 3.6**). Les sessions es van dur a terme a la sala d'anàlisi sensorial que hi ha a les instal·lacions del Centre de Tecnologia de la Carn (IRTA) a Monells (Baix Empordà). Aquesta sala consta de 10 cabines amb diferents tipus d'il·luminació (blanca, vermella i verda) i compleix les característiques de la normativa UNE 87-044-79 i les especificacions de la normativa ISO 8589 (1988) per al disseny de sales d'anàlisi sensorial.

Figura 3.6 Full d'avaluació sensorial de les mostres de carn de vedella (Projecte FAIR1_CT95_0702).

Nom panelista:	Sessió:	Data:					
Codi mostra:							
OLOR							
Vedella							
Fetge							
Altres							
FLAVOR							
Vedella							
Fetge							
Altres							
TEXTURA							
Tendresa							
Sucositat							
Altres							

En el disseny de l'anàlisi sensorial (**Taula 3.5**, p. 90) també s'hi va incloure l'ordre d'avaluació de les mostres a seguir per a cadascun dels panelistes a cadascuna de les sessions (**Taula 3.6**), amb la finalitat de corregir el possible efecte ordre d'avaluació (Guerrero i Guàrdia, 1997; Macfie *et al.*, 1989). A la **Taula 3.7** (p. 94) es mostra un exemple dels diferents ordres a seguir en l'avaluació de les mostres (filets de 6 animals) pels panelistes en una sessió concreta.

Taula 3.6 Ordre d'avaluació de les mostres per cada panelista, raça i sessió.

Raça	Sessió	Panelista									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1	S1	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R2	S2	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R3	S3	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6
R4	S4	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1
R1	S5	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R2	S6	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6
R3	S7	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1
R4	S8	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2
R1	S9	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6
R2	S10	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1
R3	S11	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2
R4	S12	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3
R1	S13	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1
R2	S14	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2
R3	S15	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3
R4	S16	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R1	S17	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2
R2	S18	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3
R3	S19	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R4	S20	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R1	S21	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R2	S22	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5
R3	S23	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6
R4	S24	Or6	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6	Or1	Or2	Or3

Or1, ..., Or6: ordres d'avaluació de les mostres (vegeu **Taula 3.7**), **R2**: raça Bruna dels Pirineus.

Taula 3.7 Exemple d'ordre d'avaluació de les mostres de cada animal per cada panelista en una sessió i per una mateixa raça.

Ordre d'avaluació de mostres	Filets avaluats (6 animals de la mateixa raça)						Panelista
	A	B	C	D	E	F	
Or1	A	F	B	E	C	D	1
Or2	B	A	C	F	D	E	2
Or3	C	B	D	A	E	F	3
Or4	D	C	E	B	F	A	4
Or5	E	D	F	C	A	B	5
Or6	F	E	A	D	B	C	6
Or1	A	F	B	E	C	D	7
Or2	B	A	C	F	D	E	8
Or3	C	B	D	A	E	F	9
Or4	D	C	E	B	F	A	10

A, B, C, ...: números de tres xifres.

3.7. ANÀLISIS ESTADÍSTIQUES

Totes les anàlisis de les dades de l'estudi es van fer amb el paquet d'anàlisi estadística SAS (*Statistical Analysis System*, SAS Institute Inc., 1988). En l'apartat de característiques descriptives es presenten les mitjanes, desviacions estàndards i valors mínims i màxims per a totes les variables estudiades.

Les dades obtingudes en l'anàlisi sensorial (valoracions dels panelistes) es van analitzar mitjançant una ANOVA amb el procediment *GLM* per tal d'estudiar els efectes any i sessió. El possible efecte panelista es va considerar compensat en calcular la mitjana de cada atribut sensorial a partir de les deu valoracions (dels 10 panelistes) per a cada filet. Es va considerar el filet (tall de l'LT) com a unitat experimental, per la qual cosa la mesura més adient era la mitjana dels 10 talls que constituïen el filet. Les variables (atributs) es van corregir per l'efecte any i es va treballar amb els residuals en les posteriors anàlisis de relacions entre variables. L'efecte sessió no fou significatiu. El

disseny experimental utilitzat va tenir en compte els efectes: porció de filet avaluada i ordre d'avaluació de les mostres (Guerrero, 2001).

Per a l'estudi de les relacions entre variables es calcularen els coeficients de correlació de Pearson (procediment *CORR*) i es van dur a terme anàlisis de components principals (ACP) mitjançant el procediment *FACTOR* per tal d'estudiar les estructures de correlacions de diversos grups de variables.

L'estudi de l'efecte raça-sistema de producció sobre les característiques bioquímiques i el color del múscul LT es va realitzar amb una ANOVA (procediment *GLM*) mitjançant el model següent:

$$Y_{ij} = \mu + \text{Raça-sistema}_i + e_{ij}$$

a on: Y_{ij} = és la ij observació de les variables dependents;
 μ = mitjana general;
 Raça-sistema_i = efecte del raça-sistema de producció ($i = 1, \dots, 7$);
 e_{ij} = residual.

El model no inclogué l'efecte de l'any ja que aquest no fou un factor comú a totes les races sinó que els sacrificis es van fer d'acord amb el sistema de producció propi, al llarg de dos anys. Així, el concepte raça-sistema de producció engloba les característiques genètiques de la raça *per se*, el sistema d'alimentació, el període d'engreix, l'època de sacrifici dels animals, l'edat i el pes viu de sacrifici.

Per a l'estudi de les relacions entre les diferents variables, es calcularen els coeficients de correlació de Pearson (procediment *CORR*). La realització d'una anàlisi canònica discriminant a través del procediment *CANDISC* va permetre estudiar i visualitzar gràficament les diferències globals entre els 7 raça-sistemes en funció de les variables estudiades. També es va dur a terme una anàlisi discriminant amb el procediment *DISCRIM* per tal d'estimar l'error de classificació dels animals dintre els diferents raça-sistemes a partir de les mateixes variables.