

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL Y CIENCIA DE LOS
ALIMENTOS**



TESIS DOCTORAL

**EFFECTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SOBRE EL
CRECIMIENTO Y LA CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA
CARNE EN CORDEROS LIGEROS DE RAZA CHURRA
TENSINA**

Luz Salomé Carrasco Alarcón

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL Y CIENCIA DE LOS
ALIMENTOS**

**EFFECTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SOBRE EL
CRECIMIENTO Y LA CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA
CARNE EN CORDEROS LIGEROS DE RAZA CHURRA
TENSINA**

Memoria presentada por Luz Salomé
Carrasco Alarcón para optar el grado
de Doctora por la Universidad de
Zaragoza

Zaragoza, diciembre de 2008

CERTIFICACIÓN DE LOS DIRECTORES DE TESIS

MARGALIDA JOY TORRENS, Doctora en Veterinaria y BEGOÑA PANEA DOBLADO, Doctora en Veterinaria, Investigadoras del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón

CERTIFICAN que la presente memoria: "EFECTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE EN CORDEROS LIGEROS DE RAZA CHURRA TENSINA", elaborada por Luz Salomé Carrasco Alarcón, ha sido realizada bajo su dirección y reúne las condiciones exigidas para optar el grado de Doctor por la Universidad de Zaragoza.

Zaragoza, diciembre de 2008.

Fdo: Margalida Joy Torrens

Fdo: Begoña Panea Doblado

RECONOCIMIENTOS INSTITUCIONALES

Al Ministerio de Educación y Ciencia de España y a los Fondos para el desarrollo regional de la Comunidad Europea (INIA RTA-03-031), entidad financiera del proyecto “Utilización de alfalfa en dietas de cebo de corderos y terneros sometidos a un sistema compatible con el Reglamento de la Agricultura ecológica”, del cual formó parte el presente proyecto de investigación materia de esta tesis.

A la Agencia Española de Cooperación Internacional, por brindarme la beca de estudios que ha permitido mi dedicación exclusiva a los estudios de Doctorado.

Al Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, por su cálida y cómoda acogida y todo el apoyo logístico.

A la Facultad de Veterinaria, por las facilidades brindadas en el laboratorio de catas para la realización del análisis sensorial de las muestras de carne.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias, por haber depositado su confianza en mi persona y haber despertado mis deseos de superación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no sería posible sin el apoyo de muchas personas, quienes de innumerables maneras han impulsado este gran proyecto desde sus inicios. De ellos me llevo mucho conocimiento y lecciones de vida.

A la Dra. Margalida Joy Torrens y Dra. Begoña Panea Doblado directoras de esta tesis, que con su inestimable ayuda, asesoramiento científico, dedicación y constante apoyo, han hecho posible la realización de la misma.

Al personal de la Finca Experimental "La Garcipollera", en especial a Ángel Bergua, Javier Casaus y Javier Sarasa por cuidar estos animales.

Al personal del CITA, en especial al personal del Departamento de Producción Animal, a Fidel Lahoz, Fernando Gracia, Javier Pérez San Juan. A Elodie Balmisse, Albi Sanz, Javier Álvarez, por todo el trabajo que conlleva el acopio de información durante la fase experimental. A Juan Pérez Revuelto, por haber compartido conmigo gran parte del trabajo post sacrificio de los corderos. A Teresa Fustero y Angelines Legua por su ayuda en los análisis químicos. A Jorge Palacios por los análisis de cortisol. A todo el personal de la "carnuZ" Guillermo Ripoll, Pere Albertí, por enseñarme las técnicas y misterios en ciencia de canales y carnes.

A Ricardo Revilla, Isabel Casasús y Albina Sanz por todo el esfuerzo y trabajo que supuso mantener el rebaño de Churros Tensinos.

Al personal del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Zaragoza, especialmente a Carlos Sañudo, José Luis Olleta, Marimar Campo, Gustavo Levrino, Inmaculada Foncillas, Juan José Pardos, por su conocimiento, apoyo y amistad.

A Alejandra, Elda, Rebeca, Beatriz, Albert, Olga, Mireia, Isabel, Samir, María Do Carmo, Virginia, Jorge, Haydé, Rosario, Armando, por su amistad y sus palabras de aliento para seguir adelante y haber compartido conmigo esta fase de mi vida. A José y Gaby por su paciencia, comprensión y hospitalidad en los momentos más críticos de esta etapa.

Al Dr. Carlos Piscocoy, por haber confiado en mí y ser un modelo de superación. A Polo Gálvez y Lolo Límaco por su ayuda en todas las gestiones imposibles.

DEDICATORIA:

Esta tesis está dedicada a la memoria del Dr. Rafael Delfa Belenguer, gran investigador y colaborador importante en la realización del presente trabajo de investigación.

*A mis padres
A Piero
A Michael*

RESUMEN

En la presente tesis se han analizado los efectos del sistema de alimentación sobre los rendimientos productivos y la calidad de la canal y de la carne de corderos ligeros de raza Churra Tensina. Para ello se evaluaron cuatro sistemas de alimentación, dependiendo del grado de extensificación: *Extensivo* (GR), los corderos y las ovejas en pastoreo continuo sin suplementación en praderas de montaña; *Extensivo con suplementación para el cordero* (GR+S), igual que el anterior pero en éste los corderos disponían de concentrado; *Intensivo con las madres en pastoreo* (DRL-GRE), las ovejas pastorearon durante ocho horas al día (08:00 a 16:00 h) sin los corderos, quienes permanecieron estabulados con libre acceso a concentrado; *Intensivo* (DRL), los corderos y sus madres permanecieron siempre estabulados. En los dos últimos tratamientos los corderos se destetaron a los 45 días de edad. Cuando los corderos alcanzaban el peso final deseado (22-24 kg) se trasladaban al matadero experimental y se sacrificaban. Posteriormente se tomaban todas las medidas objetivas, subjetivas y muestras necesarias para llevar a cabo el estudio de la canal y de la carne.

En el *Ensayo 1* se estudió el efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento, la calidad de la canal y los depósitos grasos. Los corderos en pastoreo sin suplementación presentaron menores crecimientos, peso canal, rendimiento matadero y espesor de la grasa subcutánea que los restantes tratamientos. A pesar de ello, dichas canales fueron clasificadas dentro del rango normal de canales de la categoría Ternasco. La suplementación de los corderos en pastoreo permitió obtener unas canales con iguales características que las canales procedentes de ambos sistemas intensivos. El sistema de alimentación afectó a la cantidad de grasa, presentando los corderos en extensivo la menor cantidad de grasa.

En el *Ensayo 2* se evaluó la influencia del sistema de alimentación sobre la composición tisular de la canal y se han desarrollado ecuaciones de predicción de la misma a partir de la composición de las piezas comerciales y a partir de las medidas de la canal. Los corderos en pastoreo sin suplementación presentaron las canales con las menores proporciones de grasa y las mayores de músculo y hueso. A su vez, mostraron altas relaciones músculo:grasa y bajas relaciones músculo:hueso y grasa subcutánea:intermuscular en comparación con los restantes sistemas. Las ecuaciones de predicción a partir de la composición de la pierna fueron las más fiables, seguidas por el

costillar y la espalda. Las predicciones a partir de las medidas de la canal también permitieron una buena estimación del músculo y grasa de la canal. Por ello, es más aconsejable el uso de medidas de la canal ya que es un método no invasivo que permite estimar el valor comercial de las canales sin depreciarlas.

En el *Ensayo 3* se evaluó la influencia del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol plasmático y sobre las características instrumentales de la carne de corderos ligeros. En los animales de pastoreo el manejo y el transporte previo al sacrificio fueron los factores más estresante, mientras que en los animales estabulados fue el transporte. El nivel de estrés no fue lo suficientemente intenso para producir cambios en la calidad de la carne. En cuanto a la calidad instrumental se observó que los corderos en pastoreo presentaron un color de grasa subcutánea más amarilla y el músculo ligeramente más rojo. Las diferencias observadas entre sistemas de alimentación para la textura, desaparecieron con la maduración. El color de la grasa subcutánea es un método capaz de discriminar entre los corderos de pastoreo y los corderos de estabulación, pero no dentro de cada grupo.

En el *Ensayo 4* se evaluó la influencia del sistema de alimentación sobre la composición química, el perfil de ácidos grasos y los atributos sensoriales de la carne. No se observaron diferencias para el contenido de grasa intramuscular. La carne de los corderos en pastoreo, tanto con como sin concentrado, presentó mayores proporciones de ácidos grasos poliinsaturados de la serie $n-3$ y menores de la serie $n-6$. Consecuentemente presentaron unas menores relaciones $C18:2n-6/C18:3n-3$ y $n-6/n-3$ que los corderos de los dos tratamientos estabulados. Las diferencias observadas entre ambos tratamientos de estabulado, mostraron que la dieta de la madre durante la lactancia tuvo influencia sobre el perfil de ácidos grasos de la carne de los corderos. Los atributos sensoriales no se vieron afectados por el sistema de alimentación. El uso de la composición de ácidos grasos en un análisis discriminante permitió distinguir la procedencia de los corderos según el sistema de alimentación al que habían sido sometidos.

En conclusión, el pastoreo sin destete y con suplementación es una de las alternativas más viables, ya que permite un crecimiento elevado de los corderos y proporciona unas características de la canal y de la carne similar a las observadas en los corderos cebados en sistemas intensivos. Además la carne procedente de dicho sistema presenta la ventaja

adicional de poseer un perfil en ácidos grasos más favorable para la salud humana. Desde el punto de vista sensorial no hubo diferencias entre los sistemas de producción intensivos convencionales y los sistemas extensivos, con o sin suplementación. Por ello, los sistemas extensivos que garanticen una elevada calidad del forraje ofrecido, especialmente con suplementación, pueden ser considerados como una alternativa válida al sistema intensivo de cebo de corderos ligeros en España.

SUMMARY

This thesis aimed at analysing the effect of feeding system on growth and carcass and meat characteristics of Churra Tensina light lambs. After birth, forty-eight single male lambs were assigned to four treatments: GR, lambs and ewes were continuously grazing on mountain pastures, no concentrate was available to them and lambs were unweaned; GR+S, as the previous one, but additionally lambs had free access to concentrate; DRL-GRE, lambs remained indoors with free access to concentrate and ewes grazed during 8 h a day, thereafter remaining with lambs; DRL, lambs and ewes were kept always in confinement, ewes had free access to dry unifeed and lambs to concentrate. In DRL-GRE and DRL lambs were weaned at 45 days old. When lambs reached 22-24 kg of live-weight they were transported to the experimental abattoir and slaughtered. Carcass measurements, joints dissection and meat samples were taken according to standardized protocols to carry out the carcass and meat study.

In *Trial 1*, the effect of the feeding system on lamb growth, carcass quality and fat depots was assessed. Grazing lambs without supplementation showed lower growth rate, carcass weight, dressing percentage and fatness thickness. Nevertheless, carcasses from grazing animals were classified within the normal ranges for Ternasco commercial category, similar to drylot systems. The supplementation supplied to grazing lambs improved their carcass performance, which was similar to that observed in indoors systems. Feeding system affected the total body fat depots, presenting the grazing treatment the lowest amount.

In *Trial 2*, the influence of the feeding system on carcass tissue composition and its prediction from the joint tissue composition and carcass measurements was evaluated. Grazing lambs without supplementation presented higher meat and bone percentages and lower fat percentage than the rest of treatments. Accordingly, the grazing system showed higher M/F and lower M/B and subcutaneous fat/intermuscular fat ratios. Pelvic limb was the most accurate joint for predicting the whole carcass tissue composition, followed by loin-rib and thoracic limb. Nevertheless, carcass measurements were good predictors of carcass muscle and fat. Equations including carcass measurements for predicting carcass tissue are a simple method to accurately assess saleable meat yield from different lamb feeding systems without involving carcass damage.

In *Trial 3*, the influence of the feeding system on the plasma cortisol concentration and instrumental meat characteristics was evaluated. Handling was the most stressful event

Summary

for grazing lambs, while transport was for indoors lambs. The level of stress did not affect meat quality. Grazing lambs had a yellower subcutaneous fat and redder muscles (*M. Rectus abdominis* and *M. Longissimus thoracis*) than drylot lambs. The differences between systems on colour and texture of the meat disappeared with ageing time, which supports that grazing systems are a good alternative to drylot system. Subcutaneous fat colour was a suitable method to discriminate between grazing and drylot systems.

In *Trial 4*, the influence of the feeding system on chemical composition, fatty acid profile and sensory attributes of meat was assessed. There were no differences in the intramuscular fat. Meat from both grazing treatments showed the highest proportions of polyunsaturated fatty acids *n-3* and lowest *n-6*. Consequently, the meat from these lambs had lower relations C18: $2n-6/C18:3n-3$ and $n-6/n-3$ than that observed in both indoors treatments. There were some differences between both indoor treatments, suggesting that the dam's diet during lactation may influence the fatty acid profile of meat in the offspring. The sensory attributes were not affected by the feeding system. The use of the fatty acid composition in a discriminant analysis was useful to trace the origin of lambs according to the feeding system.

In conclusion, lambs managed under grazing with supplementation was the most viable feeding system, allowing similar growth rates, and carcass and meat characteristics to those observed in lambs managed under drylot systems. Besides, meat from this system had a fatty acid profile which supports human health. There were no differences between indoors feeding systems and extensive systems on sensory attributes. As a result, grazing systems with high quality forage, and specially those providing supplement for lambs, may be considered a valid alternative to traditional Spanish indoor-feeding systems.

ÍNDICE DE MATERIAS

I. Antecedentes

1. Generalidades	1
1.2. Situación y perspectivas de la producción ovina en el pirineo central.....	4
2. Efecto del sistema de alimentación sobre las características productivas de los corderos	6
2.1. Crecimiento y edad al sacrificio.....	6
2.2. Pérdidas de peso por efecto del transporte	7
2.3. Bienestar animal.....	7
3. Efecto de los sistemas de alimentación sobre las características de calidad de la canal	9
3.1. El ternasco de Aragón.....	9
3.2. Calidad de la canal	9
3.2.1. <i>Características objetivas</i>	10
3.2.2. <i>Características subjetivas</i>	14
3.2.3. <i>Composición regional</i>	17
3.2.4. <i>Composición tisular</i>	19
3.2.5. <i>Predicción de la composición tisular de la canal</i>	21
3.2.6. <i>Depósitos adiposos</i>	23
4. Efecto de los sistemas de alimentación sobre las características de calidad de la carne	24
4.1. Características instrumentales	24
4.1.1. <i>pH</i>	24
4.1.2. <i>Capacidad de retención de agua como pérdidas de cocción</i>	25
4.1.3. <i>Color</i>	25
4.1.4. <i>Textura</i>	28
4.2. Características químicas	29
4.2.1. <i>Composición química</i>	29
4.2.2. <i>Perfil de ácidos grasos</i>	29
4.2.3. <i>Calidad nutritiva de la carne</i>	32
4.3. Características sensoriales	34
5. Trazabilidad del sistema de producción	35
II. Objetivos	39

III. Material y Métodos

1. Instalaciones experimentales	41
2. Manejo del rebaño experimental	42
3. Los animales y diseño experimental	42
3.1. Controles y medidas realizadas en los corderos	44
4. Sacrificio de los corderos	45
5. Manejo post-sacrificio	46

5.1. Calidad de la canal	46
5.1.1. Características objetivas	46
5.1.2. Características subjetivas	47
5.1.3. Composición regional.....	48
5.1.4. Composición tisular	49
5.2. Calidad de la carne.....	50
5.2.1. Toma de muestras para análisis químico, instrumental y sensorial	50
5.2.2. Análisis instrumental	51
5.2.3. Análisis químico	52
5.2.4. Análisis sensorial.....	52
6. Analisis estadístico	53
7. Metodología de los ensayos.....	53
Ensayo 1. Efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y calidad de la canal de corderos ligeros de la raza Churra Tensina.....	54
Ensayo 2. Composición tisular de la canal en corderos ligeros: influencia del sistema de alimentación y ecuaciones de predicción.	54
Ensayo 3. Influencia del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol y la calidad instrumental de la canal y de la carne en corderos ligeros de la raza Churra Tensina.	54
Ensayo 4. Diversificación de los sistemas de alimentación en corderos ligeros: Evaluación del valor nutritivo y características sensoriales de la carne.	55

IV. Resultados y Discusión

Ensayo 1. Efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y calidad de la canal de corderos ligeros de la raza Churra Tensina

Abstract	57
1. Introduction.....	57
2. Materials and methods.....	59
2.1. Experimental site	59
2.2. Animal management and experimental design	59
2.3. Chemical analysis.....	60
2.4. Slaughter procedure, carcass measurements and dissections.....	60
2.5. Statistical analysis	63
3. Results and discussion	63
3.1. Lamb performance.....	63
3.2. Zoometric carcass measurements	67
3.3. Fat depots.....	68
3.4. Regional composition, joint proportions and categories.....	70
4. Conclusions	72
5. Implications.....	72

Ensayo 2. Composición tisular de la canal en corderos ligeros: influencia del sistema de alimentación y ecuaciones de predicción

Abstract	73
1. Introduction	73
2. Material and methods	75
2.1. Animal management.....	75
2.2. Slaughter procedure	75
2.3. Statistical analysis	76
3. Results and discussion	77
3.1. Carcass tissue composition.....	77
3.2. Joint tissue composition	79
3.3. Correlation coefficients between carcass measurements and carcass tissues.....	82
3.4. Prediction of carcass tissue composition	82
3.4.1. Using joint tissue composition.....	82
3.4.2. Using carcass measurements.....	86
4. Conclusions	87
Ensayo 3. Influencia del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol y la calidad instrumental de la canal y de la carne en corderos ligeros de la raza Churra Tensina	
Abstract	89
1. Introduction	89
2. Materials and methods	90
2.1. Experimental site and animals	90
2.2. Slaughter and sampling procedures.....	91
2.3. Carcass and meat quality	92
2.4. Statistical analysis	93
3. Results and discussion	93
3.1. Plasma cortisol concentration	93
3.2. Subcutaneous fat colour.....	95
3.3. pH and meat colour	96
3.4. Cooking losses and Instrumental texture variables.....	99
3.5. Principal components analysis	100
3.6. Discriminant analysis	102
4. Conclusions	103
Ensayo 4. Diversificación de los sistemas de alimentación en corderos ligeros: Evaluación del valor nutritivo y características sensoriales de la carne	
Abstract	105
1. Introduction	105
2. Material and methods	106

2.1. Animal management.....	106
2.2. Slaughter procedure	107
2.3. Chemical composition of the meat and fatty acid profile	107
2.4. Sensory analysis.....	108
2.5. Statistical analysis	108
3. Results and discusión	109
3.1. Chemical composition of the meat	109
3.2. Fatty acid composition of intramuscular fat	109
3.2.1. Saturated and monounsaturated fatty acids	109
3.2.2. Polyunsaturated fatty acids	111
3.2.3. Nutritional ratios	113
3.3. Sensory evaluation	114
3.4. Fatty acid composition to trace the feeding system	116
4. Conclusions	118
V. CONSIDERACIONES FINALES E IMPLICACIONES	119
VI. CONCLUSIONES.....	129
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

III. Material y Métodos

Tabla 1: Composición química del concentrado de iniciación y de engorde de los corderos.....	44
--	----

IV. Resultados y Discusión

Ensayo 1. Efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y calidad de la canal de corderos ligeros de la raza Churra Tensina

Table 1: Least squares means of average daily gain (ADG), age at slaughter, live-weight and weight losses in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).	64
---	----

Table 2: Least squares means for objective and subjective carcass measurements in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).	65
--	----

Table 3: Least square means for zoometric conformation measurements and ratios between these measures in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).	68
---	----

Table 4: Quantity and proportion of internal, carcass and total fat depots in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).	69
--	----

Table 5: Least square means for proportion of joints obtained from half left carcasses in Churra Tensina lambs reared under grazing (GR), grazing plus supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).	71
--	----

Ensayo 2. Composición tisular de la canal en corderos ligeros: influencia del sistema de alimentación y ecuaciones de predicción

Table 1. Carcass characteristics in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).	78
--	----

Table 2. Percentage and ratios of the main tissues obtained by dissection of half left carcass joints in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).	79
---	----

Table 3. Percentages of half carcass joints and joint tissue composition in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....	81
Table 4. Pearson's correlations (r) between carcass tissues, in grams (g) or percentage (%), and objective and subjective carcass measurements.....	83
Table 5. Prediction equations of half carcass tissue composition from joint tissue composition.	84
Table 6. Prediction equations of half carcass tissue composition from objective and subjective carcass measurements.....	85
Ensayo 3. Influencia del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol y la calidad instrumental de la canal y de la carne en corderos ligeros de la raza Churra Tensina	
Table 1. Effects of feeding system (FS) and blood sampling time (BST) on cortisol plasma concentration (ng/ml) in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....	94
Table 2. Effects of feeding system on subcutaneous caudal fat colour in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....	95
Table 3. Effect of feeding system on pH and colour of <i>M. Rectus abdominis</i> , in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....	96
Table 4. Effect of feeding system (FS), blooming time (B) and the interaction (FSxB) on <i>M. Longissimus thoracis</i> colour in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).	98
Table 5. Effects of feeding system (FS), ageing period (A) and the interaction (FSxA) on cooking losses and on instrumental texture variables of <i>M. Longissimus thoracis</i> , in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).	100
Table 6. Percents of lambs classified correctly into their current groups according to a discriminant function based on studied variables.....	103
Ensayo 4. Diversificación de los sistemas de alimentación en corderos ligeros: Evaluación del valor nutritivo y características sensoriales de la carne	
Table 1. Effect of feeding system on chemical composition, fatty acid composition (percentage of total fatty acids) and nutritional ratios of m.	

<i>Longissimus dorsi</i> in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....	110
Table 2. Correlation coefficients between fatty acid composition of M. <i>Longissimus dorsi</i> with slaughter weight (SW), fatness degree (FD) and intramuscular fat (IMF) according to the feeding system in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL). Only significant coefficients are shown.	113
Table 3. Effect of feeding system on attributes of sensory quality in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....	116
Table 4. Proportions of animals classified correctly into their current groups according to a discriminant function based on fatty acids profile.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

III Material y Métodos

- Figura 1: Diagrama ombrotérmico de la Estación Meteorológica de Bescós “La Garcipollera” durante el periodo 1999-2003 (Álvarez-Rodríguez, 2005).....41
- Figura 2. Medidas objetivas de la conformación de la canal; Medidas externas sobre la canal entera: Perímetro de la grupa (D), Anchura de la grupa (G) y Ancho de tórax (Wr). Medidas internas de la media canal: Longitud de la pierna (F), Longitud interna de la canal (L), Profundidad torácica (Th).....47
- Figura 3. Piezas comerciales de la media canal: I, espalda; II, bajos; III, pierna; IV, cuello; V, badal; VI, costillar (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).....49
- Figura 4: Esquema de distribución y tamaño de las muestras de lomo según su ubicación (vértebras torácicas: T o vértebras lumbares: L) para las distintas pruebas analíticas de la carne.....50

IV Resultados y Discusión

Ensayo 1. Efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y calidad de la canal de corderos ligeros de la raza Churra Tensina

- Figure 1. Carcass conformation measurements: external measurements (on whole carcass): D, hindquarter perimeter; G, hindquarter wide; Wr, maximum width carcass. Internal measurements (on half carcass): F, Pelvic limb length; L, half carcass internal length; Th, chest depth. (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).62
- Figure 2. Joints of the lamb half carcass: I, Thoracic limb; II, Breast; III, Pelvic limb; IV, Neck; V, Anterior-rib; VI, Loin-rib. (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).63
- Figure 3. Pattern of fat depot development. Treatments within the same rectangle had no significant differences ($p > 0.05$). Discontinuous ied rectangle represents feeding systems with higher percentages of fat depot.70

Ensayo 2. Composición tisular de la canal en corderos ligeros: influencia del sistema de alimentación y ecuaciones de predicción

- Figure 1. Meat to bone, meat to fat and subcutaneous to intermuscular fat ratios in the carcass joints of Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....88

Ensayo 3. Influencia del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol y la calidad instrumental de la canal y de la carne en corderos ligeros de la raza Churra Tensina

- Figure 1. Principal components analysis for studied variables of Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement

(GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....101

Figure 2. Discriminant analysis of studied variables that discriminate light lambs from four feeding systems: lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).102

Ensayo 4. Diversificación de los sistemas de alimentación en corderos ligeros: Evaluación del valor nutritivo y características sensoriales de la carne

Figure 1. Discriminant analysis of fatty acids that discriminate light lambs from four feeding systems: lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).....117

I. Antecedentes

1. Generalidades

Las áreas de montaña, especialmente en Europa, son áreas rurales cuyo desarrollo y conservación es importante ya que representan uno de los ecosistemas más completos. Además presentaban una actividad primaria agrícola, ganadera y forestal más o menos estable. Sin embargo, actualmente su importancia se ha relegado debido a que presentan limitaciones orográficas, estructurales, climatológicas y productivas (Olaizola, 1991; Maza *et al.*, 1999). Dichas limitaciones repercuten negativamente en la actividad agropecuaria, lo cual se refleja en una falta de rentabilidad, abandono de las zonas de producción, pérdida de variabilidad genética por desaparición de variedades autóctonas, envejecimiento de la población y despoblación. Por ello se deben impulsar sistemas de desarrollo que generen estabilidad económica, sociocultural y medioambiental (Torrano y Valderrábano, 2003).

En este marco, surge la necesidad de crear una conciencia global sobre la importancia que los sistemas agrarios de montaña tienen en el mundo, tanto por sus características culturales como por ser una fuente de recursos. En respuesta, la Agenda 2000 y la reforma a medio plazo de la Política Agraria Comunitaria (PAC) de la Unión Europea ha planteado nuevas líneas de ayudas encaminadas a promover la agricultura ecológica, el desarrollo de técnicas respetuosas con el medio ambiente y el desarrollo rural de zonas deprimidas.

Por tanto, uno de los posibles pilares en los que se puede apoyar la recuperación y revitalización de las zonas de montaña es la producción de alimentos de calidad, utilizando para ello un tipo de agricultura y la ganadería diferente al comúnmente utilizado en la zona, como puede ser la producción ecológica o la producción extensiva ligada a la venta de un producto diferenciado. Los sistemas extensivos promueven el desarrollo de las zonas de montaña y enriquecen con productos tradicionales su patrimonio histórico, cultural y social.

Una especie que por sus características de pastoreo contribuiría con este propósito, es la ovina: favorece el asentamiento de familias en zonas desfavorables, favorece la protección y conservación de espacios rurales ya que contribuye al equilibrio ecológico como agente fertilizante de la tierra y favorece el establecimiento de la cubierta herbácea, evitando la erosión. Sin embargo, en las últimas décadas ha existido una dinámica creciente de intensificación, lo que ha supuesto una drástica reducción en el aprovechamiento de los amplios recursos pastorales disponibles en zonas de montaña.

En las últimas décadas ha habido un considerable incremento del consumo de carne (Branscheid, 2003). Sin embargo la sostenibilidad económica, ecológica y ética de esta producción es cuestionada por el consumidor (Bradford, 1999). El interés de los consumidores por la compatibilidad de los procesos productivos con el respeto al bienestar de los animales, la conservación del medio ambiente, de la cultura y del patrimonio rural provocan la demanda de un sistema de producción más ligado al medio y menos intensivo que el registrado desde los años 70 hasta la actualidad. Además hay una tendencia a la demanda de productos de calidad, definida ésta por factores intrínsecos (composición química, valor alimenticio...) y por factores extrínsecos (origen, alimentación...). El consumidor demanda productos saludables y que estén por encima de la media del mercado (Hermansen *et al.*, 2003). Tanto es así que para el consumidor común existe una relación estrecha entre el producto con denominación de origen (PDO) y los alimentos saludables, particularmente si son capaces de asociar aquellos PDO a la raza y al subsistema de producción (producciones orgánicas y tradicionales). De hecho, la decisión de compra de los consumidores hacia un producto específico, especialmente en países desarrollados, está muy influenciado por la percepción de los alimentos saludables, los cuales, en el caso de la carne, está muy relacionado con el contenido de grasa y el perfil de ácidos grasos (Fisher *et al.*, 2000; Wood *et al.*, 2003). A su vez estos contenidos están determinados por el tipo de alimentación del animal (Díaz *et al.*, 2002; Demirel *et al.*, 2006; Scerra *et al.*, 2007; Wood *et al.*, 2008), lo que muestra la importancia del sistema de alimentación sobre el producto final.

La tendencia creciente del costo de los cereales a causa de la demanda para la producción de biodiesel, está generando incrementos en los precios de los piensos animales. En consecuencia, el sector ganadero está en crisis con una peligrosa predisposición a la desaparición de la actividad pecuaria si no se dan alternativas económicas viables. Esta situación ha obligado a plantear alternativas capaces de reproducirse en el tiempo, basándose en nuevas organizaciones del espacio, en formas asociativas actualmente no generalizadas en la montaña y en modelos de gestión de los recursos no tenidos en cuenta hasta ahora (Revilla, 1991; Gibon, 1997). Este conjunto de cambios configuran una nueva visión del modelo productivo en el que los ganaderos están condicionados a un compromiso de conservación de los recursos, que pasa por el uso efectivo de las superficies pastorales (Bernués *et al.*, 2002).

En la coyuntura actual, se están planteando alternativas viables para la diversificación de los sistemas de producción de corderos en la comunidad de Aragón que logren producir

carne de cordero de la categoría comercial Ternasco, en cuyo proceso se respete el medio ambiente, se abaraten los costos de producción y se provea al mercado un producto que logre satisfacer las exigencias del consumidor actual. Se plantea el desarrollo de estos sistemas con razas propias de la región, de tal forma que se logre aprovechar la rusticidad que han logrado desarrollar estos animales a través del tiempo para finalmente brindar al mercado un producto de calidad y ligado a la tierra.

1.1. La raza Churra Tensina

Churra Tensina es una raza del Pirineo Aragonés inscrita en el Catálogo Oficial de razas de ganado español en protección especial (RD 1682 Num. 279, 1997). Es un ecotipo de la raza original Churra autóctona de Castilla y está localizada esencialmente en el Valle de Tena (de donde toma su nombre), en el Pirineo de Huesca (Aragón, España).

La importancia de la raza reside, fundamentalmente, en que se trata de una reserva genética, con unas características especiales que le permiten una perfecta adaptación a un medio hostil, tanto por las condiciones climáticas de éste como por su orografía (Sanz, comunicación personal), así como una gran capacidad para el aprovechamiento de los pastos del Pirineo Oscense. Dicho aprovechamiento tiene un efecto favorable sobre la ecología, al actuar como elemento de limpieza del monte y limitar la aparición de incendios forestales (Casasús, 1996).

Actualmente, tras el proceso de protección legal y los diversos proyectos de investigación que consiguen propagarla por las distintas comarcas, ha logrado aumentar su población hasta 7300 animales, de ellos 6200 están inscritos en el libro genealógico de la raza. Estos animales están distribuidos principalmente entre las comarcas de Sobrarbe, Alto Gállego, Jacetania y Ribagorza de la comunidad de Aragón. El tamaño medio por rebaño es de 256 ovejas, de ellas son Churra Tensina el 75% (Sanz, comunicación personal).

Aunque hasta hace pocas décadas se ordeñaba, hoy se cría únicamente por su producción cárnica (Olleta, 1988; Esteban, 2003). Es una raza que por su rusticidad es capaz de alargar el pastoreo en los puertos de montaña hasta finales de octubre y descender en el invierno a los del Valle del Ebro (Casasús *et al.*, 1994).

La Churra Tensina presenta las características morfológicas propias de la Churra de Castilla y León. Color blanco con manchas negras centrífugas en orejas, morro, ojos y extremo inferior de las patas. Vellón abierto y lana basta y larga, pudiendo así adaptarse todavía mejor a zonas de elevada pluviometría. Las extremidades, vientre y cabeza se

hallan totalmente desprovistas de lana, presentando cuernos en algunas ocasiones, especialmente los machos. De perfil recto, eumétricos y de proporciones alargadas (Olleta, 1988). Sanz (comunicación personal) en un estudio de caracterización del 5% de la población actual, indica que las hembras adultas llegan a pesar en promedio 44.5 kg y los machos 66.5 kg.

1.2. Situación y perspectivas de la producción ovina en el pirineo central

En la comunidad autónoma de Aragón se encuentra el 14% del total nacional de cabezas de ovinos (MAPA, 2005). En el Pirineo Central, el sistema de manejo tradicional en la zona estaba basado en la división del ciclo anual de producción en dos períodos claramente diferenciados: la estabulación invernal y el pastoreo de verano en los pastos supraforestales. En los dos períodos intermedios (primavera y otoño), los animales pastan las llamadas zonas intermedias, que son bosques de naturaleza diversa, praderas de fondo de valle próximas a los pueblos y antiguos campos de cultivo abandonados (Casasús *et al.*, 1997).

Inicialmente, el sistema más comúnmente utilizado era el pastoreo de ovejas y corderos hasta el destete (45-70 días) durante la primavera e inicios de verano; luego los corderos eran acabados en estabulación a base de concentrado hasta alcanzar el peso de sacrificio recomendado para ser comercializados, normalmente en la categoría comercial de Ternasco (20-24 kg; menor de 90 días). Tras el destete las madres retornan a pastoreo. Sin embargo, actualmente la intensificación a la que ha sido sometida la producción ovina ha hecho que el sistema aplicado en dicha zona sea similar al de las zonas de valle, es decir, cebo en estabulación.

En este contexto, varios autores sugieren la valoración del nivel de intensificación de los sistemas de producción ovina al que se puede llegar sin alterar los períodos de pastoreo y sin interferir en los planteamientos generales que guían la producción animal en estas zonas, es decir, la máxima utilización de los recursos naturales, minimizando los costes productivos (Thériez *et al.*, 1994; Casasús *et al.*, 1996).

Los sistemas de producción basados en forraje, normalmente están asociados con bajas ganancias medias diarias de los corderos, pero pueden permitir un importante margen de ganancias en relación con los corderos cebados intensivamente (Zervas *et al.*, 1995). Desde un punto de vista económico, la disminución del crecimiento anteriormente citado no siempre es importante. En un estudio realizado por Zervas *et al.* (1999) en Grecia, en el que comparaban varios sistemas de producción de corderos, concluían que el engorde

en pastoreo era sostenible siempre que la oferta de forraje fuera elevada. En cuanto a la rentabilidad de la explotación el cebo extensivo puede ser ventajoso si el precio de venta de la carne es elevado (Fernández y Woodward, 1999), ya que, a pesar de que se puede registrar una mayor permanencia del animal en la explotación, se reducen costes.

Apoyando lo anteriormente expuesto, Joy *et al.* (2007) manifiestan que el cebo de corderos en una pradera polífito junto a sus madres, presenta unos resultados comparables a los obtenidos en condiciones habituales de manejo. Desde este punto de vista estrictamente técnico, este sistema de cebo es totalmente viable y presenta, lógicamente unos menores costes de alimentación, tanto en el caso de los corderos como en el de sus madres. Dichos autores concluyeron que la cría y el engorde de corderos ligeros a base de leche materna y forraje verde consumido a diente puede ser una alternativa de manejo sostenible desde el punto de vista productivo y económico, con claras implicaciones medioambientales y sociales, ya que mantiene el paisaje agrario, reduce la utilización de carburantes e insumos y la mano de obra. Adicionalmente, estos autores señalan que el sistema de manejo seguido por ovejas y corderos cumple con el reglamento de la producción ecológica.

Por otro lado, los cambios de sistemas de alimentación tienen la capacidad de generar cambios metabólicos y fisiológicos, los cuales se traducen en cambios en los niveles productivos y cambios en la calidad de la canal y la carne de los corderos (Chestnutt, 1994; Murphy *et al.*, 1994a; Joy *et al.*, 2008a,b; Ripoll *et al.*, 2008). Es necesario, por lo tanto, evaluar el efecto del sistema de alimentación sobre los distintos parámetros productivos y de calidad del producto final (en la canal y la carne). Asimismo, se debe conocer si estas nuevas características son percibidas subjetivamente y si los consumidores las aceptan o las rechazan. Además, actualmente hay un incremento en la demanda de información sobre la dieta y el manejo de los animales recibidos durante su proceso productivo con el objetivo de buscar los productos seguros, naturales y respetuosos con el bienestar animal. Por ello se hace necesaria la búsqueda de técnicas de trazabilidad que garanticen al consumidor que el proceso productivo está de acuerdo con las características del producto puesto en venta.

A continuación, agrupadas por capítulos, intentamos describir las variables que serán estudiadas a lo largo de la presente memoria. Según las referencias de otras experiencias, éstas son características que se pueden ver afectadas por los sistemas de producción.

2. Efecto del sistema de alimentación sobre las características productivas de los corderos

2.1. Crecimiento y edad al sacrificio

La velocidad de crecimiento de los corderos es función de factores genéticos (Desvignes *et al.*, 1966) y de cría, principalmente del nivel alimenticio (Murphy *et al.*, 1994a,b). Estos factores modifican la curva de crecimiento, la composición corporal (Boccard y Duplan, 1961) y el desarrollo anatómico de los distintos tejidos (Knight y Foote, 1965). Todas estas características dependen además, del peso al sacrificio (Kemp *et al.*, 1970; Lambuth *et al.*, 1970). En los sistemas de producción de carne, un incremento pequeño en el peso de los corderos puede resultar en una alta productividad, dándole más flexibilidad al sistema de producción.

Los sistemas de producción pueden originar diferentes patrones de crecimiento en los corderos. En los sistemas donde la alimentación es altamente energética como es el caso del cebo intensivo, se registra un rápido crecimiento y una gran eficiencia de transformación (kg de ganancia/kg de alimento), por lo que los animales requieren menor tiempo para alcanzar el peso de sacrificio. En contrapartida, dichos sistemas requieren el uso de grandes cantidades de alimentos concentrados, los cuales son caros y puede conllevar a que la rentabilidad sea dudosa y muy dependiente del mercado de las materias primas.

Por otra parte el sistema de producción extensivo, con un cebo a base de forraje permite unas menores ganancias medias diarias de peso (ADG) en relación a los intensivos (Ely *et al.*, 1979; Notter *et al.*, 1991; Murphy *et al.*, 1994a; Zervas *et al.*, 1999; Priolo *et al.*, 2002; Santos Silva *et al.*, 2002a; Joy *et al.*, 2007) incrementando los días requeridos para alcanzar el peso al sacrificio. Dicho menor crecimiento puede verse compensado cuando se suplementa al cordero con concentrado (Santos Silva *et al.*, 2002a), asemejándose muchas veces a los crecimientos resultantes de sistemas intensivos (Cañeque *et al.*, 2003; Karim *et al.*, 2007; Joy *et al.*, 2007; 2008a). La menor ganancia diaria conlleva a un producto con menos grasa (Ely *et al.*, 1979; Notter *et al.*, 1991; McClure, *et al.*, 1994a) más atractivo para el consumidor (Blackburn *et al.*, 1991).

La especie y calidad del pasto influye en los parámetros productivos del cordero. Joy *et al.*, (2007) observaron un mayor crecimiento en los corderos de alfalfa que en los de pradera polifita lo que pudo ser consecuencia de la mayor calidad nutricional de la alfalfa

frente a la pradera polifita. El alto contenido de proteína cruda y bajos niveles de fibra detergente neutra y hemicelulosa de la alfalfa, generan un gran consumo de materia seca y consecuentemente una mayor ganancia media diaria (Goering, *et al.*, 1991), además de la mayor digestibilidad de la proteína cruda de la alfalfa (Tyrrel *et al.*, 1992).

2.2. Pérdidas de peso por efecto del transporte

Las pérdidas registradas entre el peso vivo en la explotación y el de sacrificio son debidas al transporte y en algunos casos al periodo de ayuno previo al sacrificio. Estas pérdidas dependen de la edad y del sistema de alimentación de los animales, ya que están ligadas al desarrollo del aparato digestivo. Su cuantía es menor para los animales jóvenes, aumentando hasta en un 6-7% para corderos de peso alto (Ruiz de Huidobro y Cañeque, 1993). Generalmente las pérdidas de peso ocurridas durante el desplazamiento de la finca al matadero son mayores en corderos de pastoreo que en animales de sistemas intensivos (Díaz *et al.*, 2002) debido a la gran cantidad de contenido digestivo (Cañeque *et al.*, 1990).

Fraser y Broom (1990), Scharma *et al.* (1994) y Kadim *et al.* (2006), señalan al transporte como el factor estresante que mayor influencia tiene sobre las pérdidas de peso. Cole (1995) sugiere que las pérdidas de peso *ante mortem* involucran componentes líquidos, tanto musculares como de tejidos no musculares. Otros estudios demostraron que las dietas ricas en nutrientes antes de los periodos de estrés y privación de alimentos causa una mejora en la retención de los nutrientes en los tejidos de almacenamiento (Cole, 1998) lo que ayuda a que los animales se repongan rápidamente tras el periodo de estrés (Schaefer *et al.*, 2001).

2.3. Bienestar animal

El bienestar animal se puede definir como un estado de completa salud mental y física, en el cual el animal está en perfecta armonía con el ambiente que le rodea (Hughes, 1976; Broom *et al.*, 1996). Cada vez va cobrando más relevancia. Por un lado el bienestar animal está actualmente legislado por una normativa estricta, que en el caso de la Unión Europa es de carácter obligatorio para todos sus países miembros. Por otro lado, es considerada como una herramienta de marketing muy útil que permitiría a los ganaderos obtener una compensación económica por el esfuerzo adicional que supone el hecho de producir en condiciones morales y éticas de excelencia (Blokhuis *et al.*, 2003) ya que sus productos están siendo mejor valorados por los mercados y tienen un alto grado de aceptación por parte del consumidor.

Los animales, ante situaciones de estrés que amenacen su nivel de bienestar, ponen en funcionamiento diferentes mecanismos biológicos para mantener su homeostasis y responder a la situación de estrés. Los tres tipos generales de respuesta biológica frente a un estímulo externo que es percibido como una amenaza son: comportamental, del sistema nervioso autónomo y neuroendocrino (Moberg, 1985). El sistema neuroendocrino ofrece el mayor potencial del impacto del estrés sobre el bienestar animal. El principal sistema de regulación hipotalámica es la pituitaria, la cual proporciona una conexión entre el sistema nervioso central y el sistema endocrino (Moberg, 1985).

Durante el periodo *ante mortem* (transporte y privación de agua y alimento) se activará el eje hipotálamo-pituitario-adrenal (Grandin, 1995), originando un incremento de las concentraciones de catecolaminas y cortisol circulante. La deshidratación resultante, el agotamiento tanto iónico como energético y el catabolismo proteico son importantes para el bienestar animal, calidad de la carne y rendimientos.

El cortisol juega un papel muy importante en la mediación de la respuesta fisiológica al estrés. Actúa sobre el metabolismo de la glucosa, activando la glucogenólisis hepática, inhibe la síntesis de proteínas, favoreciendo la proteólisis y modula los mediadores inmunológicos como las linfoquinas y los mediadores de la inflamación, teniendo un efecto antiinflamatorio. Debido al papel que juega el cerebro en su liberación, se le atribuye un papel importante en la percepción psicológica de la situación de estrés. El estrés puede inducir un mal funcionamiento del sistema inmunológico con repercusiones negativas sobre la salud y bienestar animal.

Algunos estudios indican que los animales de sistemas extensivos, al estar poco acostumbrados a las prácticas de manejo y a la presencia del hombre, responden con mayor reactividad a las situaciones de estrés (Knowless, 1999; Goddard *et al.*, 2000; Van de Water *et al.*, 2003). Este estado de estrés se manifiesta con un incremento significativo de los niveles de cortisol plasmático, cuya concentración es superior a la de aquellos ovinos criados en condiciones intensivas.

El destete es considerado como una práctica de manejo muy estresante para los corderos, además de implicar una modificación drástica en sus hábitos de alimentación. Díaz *et al.* (2002), señalan caídas significativas de las ganancias diarias de peso durante la primera semana post-destete, tanto en corderos de pastoreo como de estabulación y Velasco *et al.* (2004) encontró este mismo efecto durante las dos semanas post-destete, asociado a un menor consumo de alimento. Los animales jóvenes al estar aún muy

dependientes de la madre, reaccionan frente a la separación maternal con niveles de estrés importantes manifestados con una alta concentración de cortisol (Orgeur *et al.*, 1998; Napolitano *et al.*, 2002).

3. Efecto de los sistemas de alimentación sobre las características de calidad de la canal

3.1. El ternasco de Aragón

Puesto que el presente estudio contempla la producción de carne de corderos ligeros a partir de la raza Churra Tensina en la región de Aragón, es conveniente resaltar algunos aspectos generales del Ternasco de Aragón. Fue la primera carne fresca que obtuvo en España una Denominación Específica, amparada por la Diputación General de Aragón (10-07-89) y ratificada por el MAPA (22-09-92). En 1996 fue reconocido en el ámbito europeo como Indicación Geográfica Protegida. Además, desde 1999 ha recibido el reconocimiento por parte de gobierno de Aragón del cumplimiento de la Norma Europea E.N. 45.011. Las características que debe reunir son:

Corderos sin distinción de sexo (machos sin castrar y hembras), de perfil rectilíneo con tendencia subconvexa, proporciones armónicas y contornos ligeramente redondeados. Peso vivo al sacrificio de entre 18 y 24 kg y una edad al sacrificio de entre 70 y 90 días. La canal después del sacrificio y faenado deberá tener un peso de entre 8.0 y 12.5 kg y deberá estar cubierta de grasa de color blanco y consistencia firme. La grasa cavitaria debe ser de color blanco cubriendo al menos la mitad del riñón y nunca su totalidad. Respecto al color de la carne se recomienda que sea rosa pálido. La carne debe ser tierna (con inicio de infiltración grasa a nivel intramuscular), de gran jugosidad y textura suave, aportando en resumen un "bouquet" muy agradable.

Las razas admitidas para la producción de Ternasco de Aragón D.E. son Rasa Aragonesa, Ojinegra de Teruel y Roya Bilbilitana.

3.2. Calidad de la canal

La calidad de la canal puede definirse por criterios objetivos o subjetivos. Los primeros abarcan medidas de pesos y de longitud y anchura de la canal, mientras que los subjetivos son valoraciones de la canal en base a unos patrones establecidos. Los criterios comúnmente utilizados para clasificar la canal y por lo tanto, para fijar su precio son el peso y las medidas subjetivas de conformación y engrasamiento.

3.2.1. Características objetivas

a. Rendimientos de la canal

Para cada especie, sistema de producción, raza y sexo, hay un peso óptimo de sacrificio que reúne las características que satisfacen un determinado mercado. La consecución del peso óptimo de sacrificio para cada situación concreta conduce a la máxima rentabilidad (Colomer-Rocher y Espejo, 1973).

La bibliografía señala para pesos de sacrificio constantes un cierto grado de relación del rendimiento de la canal con el sistema de alimentación. Así las dietas a base de concentrado generan mejores rendimientos de canal que las dietas a base de pasto, como consecuencia del mayor peso de las canales y menor incidencia del peso del tracto digestivo (menor tamaño y desarrollo) (Olleta *et al.*, 1992a; Fluharty *et al.*, 1999; Priolo *et al.*, 2002; Santos-Silva *et al.*, 2002a, Borton *et al.*, 2005a; and Joy *et al.*, 2007), menor desarrollo del quinto cuarto y mayores acúmulos adiposos en la canal (Joy *et al.*, 2008b). Sin embargo, otros estudios han demostrado que el pastoreo es capaz de producir similares rendimientos de canal que las dietas a base de concentrado, al mismo peso de sacrificio, siempre que el pasto sea de buena calidad, como la alfalfa y cuando el pastoreo de pradera polifita es suplementado, los rendimientos pueden llegar a ser superiores a los sistemas intensivos (Joy *et al.*, 2007; 2008a)

Las canales, antes de su comercialización, pasan por un proceso de refrigeración (24 h), el cual conlleva pérdidas de agua tanto por evaporación como por goteo (las de bovino pierden hasta un 2% de su peso y en corderos estas pérdidas pueden llegar a ser de un 5%). El agua presente en la carne se encuentra distribuida en tres formas diferentes: 1. El agua ligada, que representa un 4-5% y permanece fuertemente unida incluso cuando se le aplica al músculo una fuerza ya sea mecánica o de otro tipo; 2. El agua inmovilizada, que esta ligada más débilmente y cuya liberación depende de la fuerza física que se ejerce sobre el músculo y 3. El agua libre, que se mantiene unida únicamente por fuerzas superficiales y que es fácilmente desprendible. Esta última es la que tiene importancia durante el enfriamiento de la canal y el subsiguiente almacenamiento (Forrest *et al.*, 1979). Estas pérdidas son importantes ya que las canales se venden por peso y la cantidad de agua perdida afecta al rendimiento y a su valor económico.

Cuanto mayor es la tasa de crecimiento de un animal menores pérdidas de peso por oreo presentarán sus canales debido al mayor grado de engrasamiento (Ruiz de Huidobro y

Cañeque, 1993). Las mayores pérdidas de peso por oreo se registran en canales poco engrasadas, que mayoritariamente proceden de sistemas de producción donde las dietas no son altamente energéticas.

b. El espesor de la grasa subcutánea

Esta medida fue propuesta por Colomer-Rocher *et al.* (1988) tomándola en un punto situado a 4 cm. de la línea media de la canal y a 4 cm. del borde posterior de la última costilla. Cañeque *et al.* (2005) afirman que esta medida objetiva del engrasamiento está directamente relacionada con el peso de sacrificio de los corderos, con la grasa total de la canal y por lo tanto con su proporción. Los sistemas intensivos son capaces de producir canales con mayores espesores de grasa que los sistemas de pastoreo (Notter *et al.*, 1991; Moron-Fuenmayor y Clavero, 1999; Díaz *et al.*, 2002), incluso aunque el cordero en pastoreo haya recibido concentrado como suplemento (Cañeque *et al.*, 2003), lo cual puede estar relacionado con el mayor gasto energético de los corderos en pastoreo y a las modificaciones metabólicas causadas por el ejercicio (Aurousseau *et al.*, 1985).

c. Medidas objetivas de conformación

La conformación de las canales es definida como el espesor de los planos musculares y adiposos en relación al tamaño del esqueleto, distinguiendo entre los términos de muscularidad (relación entre el grosor del músculo y el tamaño del esqueleto) y conformación (relación entre el grosor del músculo y de la grasa con el tamaño del esqueleto que los soporta) (De Boer *et al.*, 1974). Colomer-Rocher y Kirton, (1975), la definen como la distribución y proporción de las diferentes partes que componen la canal.

La conformación de la canal, puede ser también determinada a través de dimensiones de la canal mediante medidas de longitud, anchura, espesor y profundidad de ésta. Como ocurre con las de longitud, las medidas de anchura están más correlacionadas entre sí que con las de longitud (Boccard *et al.*, 1964), bastando para caracterizar una canal una medida de longitud y otra de anchura. Las medidas objetivas más representativas son:

Longitud de la pierna (F). Entre el punto más caudal del periné y el punto más distal del borde medial de la superficie articular tarso-metatarsiana.

Anchura de la grupa (G). Anchura máxima entre los trocánteres de ambos fémures. Se correlaciona con el peso de la canal.

Perímetro de la grupa (D). Se realiza a nivel de los trocánteres de ambos fémures. Está correlacionada con el peso del músculo. Se trata de un buen estimador de la proporción de grasa e la canal.

Anchura del tórax (Wr). Es la anchura máxima de la canal a nivel de las costillas.

Longitud interna de la canal (L). Es la distancia máxima entre el borde anterior de la sínfisis isquiopubiana y el borde anterior de la primera costilla en su punto medio.

Profundidad del tórax (Th). Distancia máxima entre el esternón y el dorso de la canal a nivel de la sexta vértebra torácica.

A partir de estas medidas se crearon una serie de índices, que permiten una mejor caracterización de la canal, así como disminuir el efecto del peso de la canal, de gran influencia sobre las mismas (Clarke y McMeekan, 1952).

Índice de compacidad de la pierna. Es el cociente entre la anchura de la grupa y la longitud de la pierna (G/F) (Palsson, 1939).

Índice de compacidad de la canal. Es el cociente entre el peso de la canal fría y la longitud interna de la canal (PCF/L). También se denomina índice de carnosidad y sirve para valorar la distribución de la carne y la grasa en la canal (Thwaites *et al.*, 1964).

Índice de redondez del pecho. O cociente entre la anchura y profundidad del tórax (Wr/Th).

Boccard *et al.* (1964) observaron que a medida que aumentaba el peso de la canal lo hacían diversas medidas de anchura y longitud. Ruiz de Huidobro (1994) y Díaz (2001) señalan además una mejora de las medidas de conformación, haciéndose más redondeadas (incremento de los planos musculares y adiposos), y más compactas las canales (incremento de los índices Wr/Th y PCF/L, G/F y Peso pierna/F).

El crecimiento de un animal, en periodos cortos, se va a manifestar más por el aumento de su grosor (aumento de músculo y grasa), que por el alargamiento del soporte óseo, por lo que el peso estaría más relacionado con la anchura que con la longitud. En todo caso, es probable el efecto de los sistemas de alimentación sobre estos parámetros, dependiendo estos efectos de factores genéticos y variaciones de manejo dentro del sistema. La bibliografía en corderos ligeros muestra resultados muy variados. Así, Eguinoa *et al.* (2004) al comparar un sistema de producción semiextensivo (pastoreo hasta el destete-70 días y posterior acabado con concentrado y paja) con uno intensivo

en corderos ligeros de la raza Navarra, encontraron en los primeros mayor longitud de pierna y de canal y menor anchura de pierna, señalando canales más compactas en el sistema intensivo. Por otro lado, Díaz *et al.* (2002) no encontraron diferencias entre un sistema intensivo y uno extensivo en corderos ligeros de raza Talaverana, destetados a los 45 días y Cañeque *et al.* (2003) en similares circunstancias excepto por la dieta, señalan mayor índice de compacidad de la canal para una dieta a base de concentrado.

d. El color de la grasa subcutánea

Esta característica de la canal puede ser valorada tanto objetiva como subjetivamente. Objetivamente se realiza a través de un equipo fotocolorimétrico que permite determinar el color en el espacio CIEL*a*b* (CIE, 1986); en este sistema el parámetro más identificado con el color de la grasa suele ser b*, el cual a su vez ha demostrado estar relacionado positivamente con la proporción de pasto en la dieta (Dunne *et al.*, 2006) y la concentración de carotenos (Richardson *et al.*, 2007). Adicionalmente, en algunos estudios que compararon dietas, también han servido como parámetros de diferenciación L* y C* (Ripoll *et al.*, 2008a). Para Albertí *et al.* (2005) el uso por separado de a* o b* es una simplificación de la realidad y puede conducir a errores de interpretación, por tanto de acuerdo con Rigg (1987) recomiendan el uso adicional de C* y b* porque representan el color de la grasa tal y como es percibido visualmente por los consumidores o evaluadores de canales (Dunne *et al.*, 2006).

El color de la grasa subcutánea de la canal es un importante descriptor de la calidad de la misma. En los países mediterráneos, el color amarillo de la grasa es una característica indeseable y podría incitar al rechazo del producto en el momento de compra del consumidor, quien tiende a relacionarlo con animales viejos cuya carne es menos tierna (Anonymous, 1993). Sin embargo, está demostrado que el color de la grasa de la canal depende en gran parte de la alimentación recibida por el cordero. Los corderos que consumen abundante forraje verde acumulan carotenos en sus tejidos adiposos, haciendo que éstos adquieran un color amarillo (Yang *et al.*, 1992; Prache *et al.*, 1999; Priolo *et al.*, 2002; Ripoll *et al.*, 2008b), lo cual no ocurre en los corderos alimentados a base de concentrado, debido a la carencia de pigmentos en este tipo de alimento. En los países del norte de Europa, el color amarillo de la grasa se asocia con el sistema de producción tradicional a base de pasto (Wood y Fisher, 1997) y es percibida como un criterio de calidad positivo (Schwarz *et al.*, 1997).

Es posible utilizar el color de la grasa o la concentración de carotenoides como herramientas de trazabilidad o como un indicador del historial dietético de los animales, es decir, puede servir como un medio de autenticación del sistema de alimentación del animal (Prache *et al.*, 2002; Priolo *et al.*, 2002).

3.2.2. Características subjetivas

a. Valoración del estado de conformación

La valoración del estado de conformación de la canal se puede determinar mediante apreciación visual de la forma de las canales, evaluando el desarrollo de los perfiles de la canal y en particular de las partes esenciales de la misma (cuartos traseros, lomo, paletilla). En el Reglamento (CEE) nº 1278/94 y el Reglamento (CEE) nº 22/2008 del Consejo para canales ovinas, se presenta una escala de conformación, que se utiliza sólo para canales mayores de 13 Kg. Consta de 6 clases: SEUROP, siendo la clase P para las canales peor conformadas y la S para las de conformación superior (DOCE, 1994; 2008)

La canal con buena conformación tendrá un predominio de perfiles convexos y de medidas de anchura, frente a los perfiles cóncavos y medidas de longitud, dando una sensación de corta, ancha, redondeada y compacta (Sañudo y Sierra, 1993). Las canales bien conformadas presentan mayores proporciones de grasa y partes anatómicas de desarrollo tardío, menos tejido óseo y músculos más cortos y anchos (Kirton *et al.*, 1967; Colomer-Rocher, 1972), mejorando con el incremento de peso y el estado de engrasamiento (Delfa *et al.*, 1987, Sañudo *et al.*, 1993). Algunos investigadores indican que las canales procedentes de sistemas intensivos están mejor conformadas que aquellas de pastoreo (Cañeque *et al.*, 2003; Joy *et al.* 2008a) mientras que otros señalan no encontrar diferencias entre ambos sistemas de alimentación y pastoreo con suplemento cuando la pradera es de alfalfa (Joy *et al.*, 2007).

b. Valoración del grado de engrasamiento

El grado de engrasamiento óptimo de una canal es aquel grado mínimo que permita una buena conservación y transporte de las canales y proporciona a la carne unas propiedades sensoriales óptimas. Es otro factor que determina el valor comercial de la canal (Briskey y Bray, 1964), es el criterio de calidad más importante para su clasificación comercial. La grasa de cobertura de la canal ejerce una acción protectora sobre los músculos, regulando por una parte el enfriamiento de los mismos y evitando, por otra, el

oscurecimiento de la carne como consecuencia de la oxidación de la mioglobina (Lawrie, 1966).

La calificación del grado de engrasamiento de la canal se realiza atendiendo a la importancia de la grasa de cobertura según una escala de 4 puntos que se valora utilizando unos patrones fotográficos, de acuerdo con el Reglamento (CEE) n° 1278/94 (DOCE, 1994) y el Reglamento (CEE) n° 22/2008 (DOCE, 2008).

La cantidad de los depósitos grasos de la canal está claramente relacionada con la disponibilidad de energía de la dieta. Las canales de los corderos alimentados a base de concentrado, altamente energético, presentan un mayor grado de engrasamiento, tanto a nivel subcutáneo o de cobertura de la canal como a nivel de la región pélvico-renal (Díaz *et al.*, 2002; Santos Silva *et al.*, 2002a). Por otra parte, los corderos en pastoreo realizan un mayor ejercicio físico, lo que conduce a un incremento de la necesidad de energía para el mantenimiento del animal y a una posible movilización de las reservas lipídicas con la finalidad de formar tejido muscular (Field, 1990; Sainz, 1990; Chestnutt, 1994; Priolo, 2002). Así Joy *et al.* (2007), indican que las canales de los corderos ligeros criados en pasto fueron calificadas con puntuaciones ligeramente inferiores a las canales de los corderos que consumieron concentrado (pastoreo suplementado e intensivo), aunque éstos fueron calificadas como “normales”.

c. Valoración visual de la cantidad de grasa pélvico-renal

Esta medida es otra forma de conocer el engrasamiento de las canales en matadero, es rápida y fácil, no es costosa y no causa daños a la canal, lo cual es una ventaja en la cadena de sacrificio. Presenta una correlación alta con la grasa total de la canal (Díaz *et al.*, 2004) empleando algunas veces para mejorar la precisión de las ecuaciones de predicción de la composición de la canal (Diestre, 1985), e incrementa el valor predictivo de las ecuaciones cuando es utilizada con otros parámetros. Su valoración se realiza según el método propuesto por Colomer-Rocher *et al.* (1988) y consiste en la apreciación visual de la cantidad de grasa existente en la cavidad pelviana y que rodea a los riñones. Este método de valoración consta de una escala de tres puntos: poca (1), normal (2) y mucha (3), que se corresponde según Colomer-Rocher (1984), con un 2.11, 2.64 y 3.78 por 100 de grasa pélvico-renal respectivamente.

La práctica de determinar el engrasamiento de las canales en matadero a través de la estimación de este parámetro está refrendada por los diversos estudios que han

demostrado su alta correlación con el grado de engrasamiento de las canales (Díaz *et al.*, 2004) y la composición tisular de las mismas, principalmente asociadas con el contenido de grasa y músculo (Kempster *et al.* 1982; Bruwer *et al.*, 1987).

d. La consistencia de la grasa subcutánea

Su valoración se realiza mediante apreciación táctil, alrededor del nacimiento de la cola, utilizando la escala propuesta por Colomer-Rocher *et al.* (1988): dura, blanda, aceitosa. En algunos casos, pueden aparecer grasas blandas de consistencia aceitosa y coloración pardo-amarillenta que son comercialmente depreciadas. Este problema puede afectar incluso a las cualidades organolépticas (Bozzolo *et al.*, 1990) debido a que posibles sabores desagradables, como puede ser la rancidez pueden estar ligados a este carácter (Girard, 1986).

El sistema de alimentación puede afectar la consistencia de la grasa. Priolo *et al.* (2002) encontraron que la grasa de los corderos procedentes de un sistema intensivo fue menos consistente que cuando estuvieron en pastoreo. Sin embargo, Macedo *et al.* (2000) y Joy *et al.* (2007) no encontraron este fenómeno. Según Normand (1997) podrían causar este efecto la ratio forraje/concentrado, la ingesta de energía metabolizable y el nivel de crecimiento. Está claro que cuando los rumiantes reciben raciones energéticas ricas en almidón, en el rumen tienen lugar fermentaciones de tipo propiónico que generan una síntesis intensa de ácidos grasos ramificados e insaturados; éstos tienen un punto de fusión bajo y por tanto se produce una grasa más blanda o aceitosa (Kemp *et al.*, 1981; Enser *et al.*, 1998), que además es más sensible a la oxidación durante la conservación de la canal (Wood *et al.*, 2008).

e. Valoración visual del color de la grasa subcutánea

El color de la grasa subcutánea de las canales es también valorada por apreciación visual (a nivel del acúmulo graso del nacimiento de la cola), utilizando la escala propuesta por Colomer-Rocher *et al.* (1988). Los colores de referencia son: blanco nacarado, blanco cremoso y amarillo.

El color es uno de los atributos de la canal que más valora el consumidor, pero la percepción del consumidor acerca de cuál debe ser el color normal de la grasa varía de acuerdo con las regiones geográficas (Kirton *et al.*, 1975). El consumidor de Europa Mediterránea percibe que la canal con grasa de color blanco o pálido es de calidad superior (Annonymus, 1999). Por tanto es importante evitar que los sistemas de

producción afecten en gran magnitud al color de la grasa. Algunos estudios que compararon distintos sistemas de alimentación sobre el color de la grasa, a pesar de haber encontrado diferencias a nivel instrumental, concluyen que estas diferencias no se han detectado en la valoración subjetiva (Joy *et al.*, 2007) y mucho menos, suponen motivo de rechazo por parte de los consumidores (Macedo *et al.*, 2000).

f. Valoración visual del color del M. *Rectus abdominis*

El color del músculo de los animales varía en función de la edad y el sistema de alimentación de los animales. Esta característica puede determinarse en el M. *Rectus abdominis*, por ser considerado un músculo representativo de un músculo esquelético de contenido medio en mioglobina, y que no es afectado de manera importante por el ejercicio (Colomer-Rocher *et al.*, 1988). La escala propuesta por este investigador es la siguiente: rosa pálido, rosa, rojo.

La bibliografía señala que el color de la carne de los animales jóvenes es más clara (rosa-pálido a rosa) que la de los animales adultos. Asimismo, que la carne de los animales que pastorean suele ser más oscura que la de los animales que no pastorean, posiblemente debido a la mayor concentración de pigmentos hemínicos en el músculo de éstos como efecto de la actividad física (Renerre, 1986). Los estudios comparativos entre sistemas de producción en animales jóvenes, han demostrado resultados diversos. Macedo *et al.* (2000), Eguinoa *et al.* (2004) y Joy *et al.* (2007) no encontraron diferencias estadísticas entre sistemas e indicaron que tanto las canales de los corderos ligeros de pastoreo como las de animales alimentados con concentrado presentaban como media una coloración “rosa”, y que existieron pocas canales que presentaran una coloración “rosa intenso”. Joy *et al.* (2008a) a pesar de encontrar diferencias entre ambos sistemas (color ligeramente más intenso para los de pastoreo, 5.7 vs 5.2), concluyó que todas las canales se correspondían con la coloración de “rosa”. Estas diferencias poco notables podrían ser consecuencia de la temprana edad de sacrificio de este tipo de animales.

3.2.3. Composición regional

Otro de los factores que determinan la calidad de la canal es su composición anatómica, ya que las distintas piezas que la forman se agrupan según su valor comercial en tres categorías: primera (pierna, badal y costillar), segunda (espalda) y tercera (bajos y cuello). En el caso de las canales ovinas, el despiece tradicional es muy parecido al realizado a nivel de investigación, ya que los criterios tomados para el despiece en

muchos casos se basan en los realizados por los carniceros tradicionales (Sierra, 2005). Para realizar comparaciones entre autores, se recomienda seguir un despiece normalizado. El primero fue descrito por Boccard y Dumont (1955). Posteriormente se describió una variante del anterior por Colomer-Rocher, *et al.* (1972, 1988) de acuerdo con el despiece tradicional practicado en Aragón.

El nivel alimenticio condiciona tanto el crecimiento como el desarrollo. El primero porque la velocidad de crecimiento depende directamente del nivel nutricional. El desarrollo está determinado por el nivel de alimentación en la medida en que la precocidad aumenta directamente con el aporte nutricional, permitiendo el desarrollo de los tejidos tardíos. Por ello el bajo aporte de principios nutritivos durante el crecimiento provocan un mayor desarrollo de los órganos vitales (cabeza, corazón, pulmón y hueso) y un menor desarrollo de los no vitales, como son la musculatura y tejido adiposo.

Por otro lado, Boccard y Duplan (1961) indicaron que a igualdad de peso vivo, la velocidad de crecimiento no influye en las proporciones de las distintas regiones corporales. Pero ésta sí influye sobre la proporción de los distintos tejidos: a mayor velocidad de crecimiento se produce una menor proporción de tejido muscular y una mayor de tejido adiposo (sobre todo subcutáneo). Existe una relación entre la composición regional y la composición tisular de manera que al aumentar la proporción de grasa, aumenta la proporción de costillas de lomo y falda, y al aumentar el músculo, aumentan porcentualmente la pierna (Boccard *et al.*, 1976; Sañudo, 1980).

El sistema de cría también puede afectar a la calidad de la canal, presentando los animales que están en pastoreo con respecto a los de estabulación, mayor proporción de pierna (Pérez *et al.*, 1999), debido a que el ejercicio produce un menor engrasamiento y mayor desarrollo muscular principalmente en las extremidades (Barnard *et al.*, 1970). Otros investigadores como Díaz *et al.* (2002) sólo han encontrado una mayor proporción de costillar en los corderos de sistemas intensivos respecto de los de sistemas extensivos, lo cual atribuyen a una mayor cantidad de grasa presente en esta región. Como consecuencia tampoco encontraron diferencias para las categorías de cortes comerciales. Este resultado podría ser debido a que esta región es de desarrollo tardío lo que se relaciona con una mayor deposición de grasa en respuesta a la alta ingesta energética (característica de los sistemas de producción intensivos).

3.2.4. Composición tisular

Conocer la composición tisular de la canal y la de sus piezas se justifica por la preferencia de los consumidores por las carnes y piezas con una mayor proporción de magro. Por lo tanto, esta composición influye en la calidad comercial de la canal (Kempster *et al.*, 1982). Los principales tejidos desde el punto de vista productivo y comercial son el muscular, óseo y graso. Cuantitativamente el componente más importante es el músculo seguido de la grasa y el hueso.

En el proceso de crecimiento y desarrollo los tejidos corporales evolucionan siguiendo la ley de desarrollo tisular (Hammond, 1932) de acuerdo a la siguiente secuencia: nervioso, óseo, muscular y adiposo. En la especie ovina, tanto los tejidos como las regiones corporales presentan un patrón de crecimiento craneo-caudal y disto-proximal. Los principales tejidos de la carne presentan unas ondas de crecimiento desfasadas unas de otras de tal manera que la máxima velocidad de crecimiento en relación al crecimiento total del animal se producirá en distintos momentos de la vida del individuo y dependerá de la raza y de su nivel nutritivo (Wood *et al.*, 1980). El hueso es un tejido de desarrollo más precoz que el músculo; sin embargo el músculo, que constituye la carne magra, comestible y disponible para la venta es el más importante; el adiposo, es el que más interfiere en la composición tisular (Osorio *et al.* 1993) siendo necesarios niveles mínimos pero suficientes por ser muy susceptible de incrementar o disminuir su deposición en función del nivel de alimentación y el sistema de producción. Una mayor acumulación hace que descendan las proporciones de músculo y hueso en la canal. Las razas precoces depositan tanto carne como grasa antes de completarse el crecimiento de los huesos y de los órganos internos, siempre y cuando el nivel nutritivo sea alto, ya que en caso contrario se comportarían como las de madurez tardía. Normalmente, el pastoreo genera una menor deposición de grasa respecto a los sistemas intensivos, generando canales magras (Santos-Silva *et al.*, 2002). Así Macedo *et al.* (2000) indican no encontrar diferencias significativas para la proporción de músculo pero sí para la grasa (9% vs 13%) y hueso (36% vs 29%). Resultados similares son descritos por Jones *et al.* (1984) mientras que otros estudios no señalan diferencias para la proporción de hueso y que las diferencias en el contenido de grasa son debidas principalmente a la grasa subcutánea, sin diferencias para la grasa pélvica (Díaz *et al.*, 2002). Dentro del sistema de pastoreo, los rendimientos dependen mucho de la calidad del pasto. McClure *et al.* (1994) indicaron para el pastoreo sobre alfalfa valores similares de masa muscular y hueso y menor deposición de grasa que el sistema intensivo, y resaltaron que estos parámetros fueron

superiores al pastoreo sobre gramíneas. Por otro lado, la suplementación del pastoreo tiene la capacidad de incrementar la deposición de grasa respecto al pastoreo no suplementado. Así McClure *et al.* (1995) y Karim *et al.* (2007) señalan contenidos intermedios de grasa total, subcutánea, intermuscular e intramuscular para el pastoreo suplementado, correspondiéndose con el mejor plano nutricional.

a. La relación músculo/hueso (M/B)

Este parámetro nos da una idea de la cantidad de carne comestible que tiene un animal en relación al hueso y está estrechamente relacionado con el tamaño del animal. Berg y Butterfield (1976), afirman que a peso constante de la canal el cociente M/B es función del genotipo.

Comparando sistemas de alimentación con distintos grupos raciales en corderos ligeros, Santos-Silva *et al.* (2002) manifiestan mayor índice M/B en las canales de los corderos pastoreados y similares para las canales de corderos de pastoreo suplementado y las de corderos de confinamiento. Esto fue consecuencia de una mayor proporción de músculo en las canales de corderos de pastoreo. Sin embargo, Díaz *et al.* (2002) en un estudio de comparación de sistemas de alimentación en corderos ligeros de raza Talaverana, no hallaron diferencias para este índice.

b. La relación músculo/grasa (M/F)

Es la relación existente entre la cantidad de músculo y de grasa en la canal. Esta proporción disminuye en el animal vivo a medida que éste crece, lo que significa que la cantidad de grasa total aumenta conforme el animal madura. Simm (1987) afirma que la mayor parte de la variación de la composición corporal del animal vivo está asociada con diferencias en la cantidad de grasa presente en el organismo. Butterfield (1988) indica que es una característica importante de los animales de carnicería, particularmente para el consumidor final. Se necesita compararla para entender los cambios del crecimiento. Su valor declina progresivamente a medida que el animal crece y siendo el músculo un tejido deseado y la grasa menos, es evidente que una vez alcanzado un óptimo, los descensos de esta relación se traduzcan en una menor valoración de la canal por parte del consumidor.

La ingestión de energía afecta solamente a la proporción M/F (Norton *et al.*, 1970) y el nivel nutricional tiene escaso efecto cuando los resultados se expresan en términos de "libres de grasa", es decir en términos de las relaciones M/B. Esto se debe a que la

composición tisular se ve afectada por la velocidad de crecimiento, como ya demostraron Bocard y Duplan (1961). Además explica por qué diversos autores han encontrado que animales realimentados son más magros que los que crecen continuamente (Keenan *et al.*, 1969; McManus *et al.*, 1972; Butterfield, 1983). Díaz *et al.* (2002) comparando pastoreo vs confinamiento indican diferencias para los índices M/F de las canales, resultando mayores en las canales de los corderos en pastoreo.

c. La relación grasa subcutánea/grasa intermuscular (SF/IF)

El depósito graso más susceptible de cambios por efecto de los sistemas de alimentación o deficiencias nutricionales, es el subcutáneo. Según refieren Hammond *et al.*, (1983) o Butterfield *et.* (1988) es un depósito graso con una alometría positiva. Por tanto resulta interesante conocer esta relación para comparar canales procedentes de distintos niveles de alimentación. A mayor índice, mayor cantidad de grasa subcutánea y mayor deposición de grasa en la canal.

Díaz *et al.* (2002) indican diferencias para SF/IF entre las canales de corderos de pastoreo y las de confinamiento, de modo que los corderos de pastoreo presentan mayor índice M/F y menor índice SF/IF.

3.2.5. Predicción de la composición tisular de la canal

La predicción de la composición tisular de la canal tiene un gran interés, ya que se podría ajustar el precio de la canal en función de su composición. Con la finalidad de conocer la composición de la canal a través de métodos indirectos, se han desarrollado ecuaciones de predicción utilizando diversas medidas de la canal, así como el grado de engrasamiento y conformación y la composición tisular obtenida de alguna de sus piezas. Sin embargo, las ecuaciones de predicción obtenidas en determinadas condiciones son difícilmente extrapolables a otras situaciones de explotación. Kempster, (1981) y Diestre (1985) observaron discrepancias entre los valores reales y los predichos, lo que fue justificado por las diferencias en raza, edad de sacrificio y manejo de los animales que había entre los estudios originarios de las ecuaciones y los estudios en los que se aplicaba la predicción.

Las ecuaciones de predicción se pueden realizar a partir de distintas medidas, pudiéndose éstas agrupar en aquellas obtenidas a partir de la disección de las piezas de la canal y aquellas a partir de medidas objetivas y subjetivas de la canal.

a. A partir de la disección de las piezas comerciales

Kempster (1981), encontró que la predicción de la composición tisular de la canal a partir de una pieza era más exacta que la obtenida a partir de medidas de conformación y engrasamiento. También Kempster *et al.* (1976), observaron que la espalda en primer lugar y el badal en segundo, eran las piezas que proporcionaban una mayor precisión en la predicción de la proporción de músculo. Ruiz de Huidobro y Cañeque (1994) y Álvarez-Rodríguez *et al.* (2008), encontraron que la pierna y la espalda son las piezas que mejor predicen la composición tisular de la canal. Otros autores notaron que el costillar era la pieza que mejor predecía el porcentaje de músculo de la canal (Timon y Bichard, 1965) mientras que para Field *et al.* (1963) predecía mejor el porcentaje de grasa y hueso; además Field *et al.* (1963), encontraron que la pierna y la espalda fueron las mejores predictoras de la proporción de músculo. Para Guía y Cañeque (1992), la mejor pieza para predecir la proporción de músculo y hueso, era la espalda, incluyendo además en las ecuaciones el peso de la media canal.

b. A partir de las medidas objetivas y subjetivas de la canal

La predicción de la composición tisular de la canal a través de las medidas objetivas y subjetivas de la canal es muy variable. Cuthbertson y Kempster (1978) y Kempster *et al.* (1981) encontraron que las medidas objetivas de conformación presentan escasa correlación con la cantidad de músculo de la canal. Sin embargo cuando se utiliza el perímetro de la grupa (D), en combinación con el grado de engrasamiento y la puntuación de la grasa pélvico-renal, el grado de predicción es más elevado. Diestre (1985) señala una correlación positiva entre el perímetro de la grupa y la proporción de músculo de la canal, lo que concuerda con Minrod (1983) que concluyó que las medidas de las nalgas son las que mejor determinan la forma de los músculos de la pierna en canales de cordero.

Diversas medidas de engrasamiento se han utilizado como predictoras de la composición tisular de la canal. Para Kempster *et al.* (1976) la puntuación del grado de engrasamiento es un buen predictor de la proporción de músculo de la canal, mientras que para Delfa *et al.* (1996) es la valoración subjetiva de la cantidad de grasa pélvico-renal. El espesor de la grasa subcutánea junto con el peso de la canal caliente (Hopkins, 1994) o junto con el peso de la grasa renal y el de la canal caliente (Judge *et al.*, 1966) permiten una buena estimación del contenido de músculo. Para algunos autores, mejorar la precisión de las ecuaciones implica utilizar varias medidas a la vez. Así Diestre (1985) utilizó

conjuntamente la composición tisular de la espalda, peso de la canal, proporción de grasa pélvico-renal y apreciación visual de la grasa pelvico-renal para predecir la composición tisular de la canal obteniendo una predicción fiable.

Se puede decir que un buen predictor es aquel con el que se consigue un mayor nivel de predicción en relación al coste (Kempster *et al.*, 1986), por lo que el peso de la canal sería el mejor predictor de la composición tisular, ya que es una medida tomada rutinariamente a nivel de matadero y su coste es muy bajo. De acuerdo con ello, Hopkins, (1994) concluyó que el peso de la canal caliente explica la mayor parte de la variación en peso de magro, por lo que puede ser utilizado como estimador de la composición de la canal, sirviendo para predecir sobre todo el contenido en grasa de la misma. Por el contrario, Berg y Butterfield (1976), afirmaron que el peso de la canal era una medida inadecuada para expresar el valor carnicero de un animal, pues el menor o mayor peso de canal aisladamente no es indicativo de calidad.

3.2.6. Depósitos adiposos

Los depósitos adiposos se dividen en subcutáneo, intermuscular, intramuscular, cavitario (pélvico y renal) y visceral (pericárdico, omental o epiplóico y mesentérico). Tanto la cantidad como la composición del tejido adiposo puede variar en función de la especie, edad, sexo, régimen alimenticio, localización anatómica y entorno medioambiental (Kempster, 1981).

Desde el punto de vista comercial, los depósitos grasos subcutáneo e intermuscular tienen alto valor en las primeras fases de crecimiento de los corderos, es decir, cuando los depósitos son relativamente pequeños; pero el valor decrece en cuanto la deposición excede del óptimo. En contraste, los depósitos cavitario y visceral son de escaso valor. La cantidad de grasa pélvico-renal es evaluada como atributo para la clasificación comercial de la canal mientras que la intramuscular no influye tanto en la calidad de la canal sino en la de la carne, que se tratará más adelante.

Debido a que el peso de la grasa pélvico-renal presenta una correlación muy alta con el peso de la grasa total de la canal (Boccard *et al.*, 1958), ha sido utilizada como índice del estado de engrasamiento de la canal (Espejo *et al.*, 1974).

Para Prescott (1982), la grasa es el componente de la canal que presenta una mayor variabilidad cuantitativa y a igualdad de pesos, está influida principalmente por el genotipo y por la alimentación. Hammond (1932) ya anotó la necesidad de una adecuada

nutrición del animal para asegurar la óptima expresión de las características genéticas, con el objetivo de obtener unos productos animales con unos depósitos grasos suficientes pero no excesivos para una buena apreciación comercial. La ingestión de energía es un factor prioritario en el control de la deposición de grasa, así que una ingestión de energía incrementada por encima de las necesidades de mantenimiento y en animales en crecimiento resulta en una hipertrofia de los adipocitos (Haugebak *et al.*, 1974; Hood, 1983). Contrariamente, un nivel nutritivo bajo provoca un incremento en la proporción de magro y reducción en la de grasa (Alfonso y Thompson, 1996). En este sentido, Murphy *et al.* (1994a) y Karim *et al.* (2007) al comparar canales de corderos de pastoreo y de concentrado, señalan a estos últimos con una mayor cantidad de grasa de corte, concluyendo que el sistema de alimentación puede controlar el depósito graso, ejerciendo mayor reducción de los depósitos no consumibles frente a los del producto consumible. Sin embargo Walker (1986) propuso que el factor más determinante en la cantidad de grasa depositada es el peso final más que el tipo de alimentación.

4. Efecto de los sistemas de alimentación sobre las características de calidad de la carne

4.1. Características instrumentales

4.1.1. pH

Tanto el valor final del pH (24 h. *post mortem*) como la velocidad de caída del mismo durante la transformación del músculo en carne, afectan a las características organolépticas (color, jugosidad, flavor, etc) y tecnológicas de la misma (capacidad de retención de agua, capacidad de conservación) (Sañudo, 1991). El agotamiento de glucógeno muscular dependerá, entre otros, de todos aquellos factores que resultan estresantes a los animales y tal como indicamos anteriormente, el ovino al ser poco susceptible a los efectos del estrés (Charpentier y Goutefongea, 1966), rara vez presenta casos de carnes DFD (oscuras, firmes y secas) o PSE (pálidas, suaves y exudativas).

Para Warris *et al.* (1990) el período de ayuno previo al sacrificio provoca en el ganado ovino un efecto estresante que influye sobre el valor de pH final en mayor medida que el efecto de otros agentes estresantes, como por ejemplo el transporte. Por tanto una forma de proteger a los animales de los factores potencialmente estresantes que serán responsables de la desaparición de glucógeno, es proveerles de dietas altas en energía (Immonen *et al.*, 2000).

Muchos investigadores que relacionan pH altos con los sistemas extensivos de producción (Priolo *et al.*, 2002) indican que la carne de los corderos en pastoreo presentaba un pH final más alto que los corderos alimentados con concentrado. Young *et al.* (1997) atribuyen este efecto a un bajo potencial glicolítico. Sin embargo otros investigadores no encontraron efecto de los sistemas de producción sobre el pH final de la carne (Díaz *et al.*, 2002, Santos-Silva *et al.*, 2002a), lo que concuerda con la premisa de que la naturaleza del alimento no tiene excesiva importancia sobre el valor del pH final (Alberti *et al.*, 1988; Sierra *et al.*, 1988).

4.1.2. Capacidad de retención de agua como pérdidas de cocción

La carne cruda de los mamíferos contiene, por término medio un 75% de agua (Lawrie, 1998). Parte del agua se pierde durante el enfriamiento de las canales, pero las mayores pérdidas se dan en el cocinado de la carne, pudiendo superar el 40% (Offer y Knight, 1988), y se deben a la desnaturalización de proteínas y alteración de enlaces y estructuras que participan en la retención de agua a nivel intramuscular (Trout, 1988).

Diversas características de la carne como el pH, contenido de grasa, o la estructura física del músculo, podrían afectar a la capacidad de retención de agua. Los valores de pH altos generan una mayor capacidad de retención de agua, lo cual influye en el aspecto de la carne, que será más oscura, con una menor aptitud para la conservación y menor ternura, por la disminución de la liberación de jugos durante el cocinado. Respecto al contenido de grasa, Kemp *et al.* (1976) en un estudio con corderos pesados encontraron que las pérdidas de cocinado incrementaban con el peso de las canales, correspondiéndose el mayor contenido graso con las mayores pérdidas. Estas pérdidas incluyen, en la fracción acuosa liberada, parte del agua que inicialmente estaba ligada a la célula intramuscular y parte de la fracción lipídica existente en la muestra, debido a la fusión de los depósitos grasos con el calor. En todo caso es de esperar que dietas ricas en energía como las de concentrado, al favorecer el engrasamiento de las canales sean capaces de generar mayores pérdidas de agua por efecto del cocinado respecto a aquellas dietas a base de pasto cuyas canales están menos engrasadas.

4.1.3. Color

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

La mioglobina, proteína sarcoplasmática que almacena y transporta el oxígeno que necesita el músculo, aumenta su concentración con la demanda de oxígeno; por ello es superior en los músculos más activos y según crece el animal. La hemoglobina (especialmente en animales mal sangrados), los citocromos y los flavonoides pueden influir también en el color de la carne, así como su contenido en humedad y grasa intramuscular (Cepero y Sañudo, 1996). No sólo es importante el contenido en mioglobina sino también el estado químico en que se encuentre, produciéndose una interconversión constante entre las tres formas básicas del pigmento, lo que hace variar el color según la proporción relativa y la distribución de cada una de ellas.

En la carne fresca la mioglobina se puede presentar en tres formas básicas: Mioglobina reducida o desoximioglobina (Fe^{2+}) de color rojo púrpura. Oximioglobina o mioglobina oxigenada (Fe^{2+}), de color rojo brillante (deseado por el consumidor) por lo que habrá que intentar alargar su presencia. Metamioglobina o mioglobina oxidada (Fe^{3+}), se forma por exposición prolongada de la anterior al oxígeno siendo de color marrón-pardo.

En el sistema de representación del color CIEL*a*b* (CIE, 1986), la coordenada L^* es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989). Depende de varios factores como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular y, en menor medida del grado de oxidación de los hemopigmentos (Palombo y Wijngaards, 1990; Sayas, 1997). La coordenada a^* (rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina, siendo mayores los valores de a^* en carnes con mayor contenido en mioglobina (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998). La coordenada b^* (amarillo-azul) ha sido relacionada con los distintos estados de la mioglobina (Pérez-Álvarez, 1996, 1998), mientras que la concentración de mioglobina no es un factor determinante sobre esta coordenada. Sin embargo, estos mismo autores señalan que las "carnes grasas" presentaban valores de b^* superiores a los obtenidos para las "carnes magras". Este comportamiento podría deberse a la mayor contribución en "componentes amarillos" por parte de la grasa.

El color de la carne es uno de los atributos más valorados por el consumidor en el momento de la compra, hasta el punto de ser considerado uno de sus criterios preferenciales (Krammer, 1994). El consumidor en general prefiere una carne de color rojo brillante mientras que rechaza la de color apagado o pardo (Beriaín y Lizaso, 1997). No obstante en la aceptación del color influyen factores geográficos, sociales y culturales, por lo que la generalización en este parámetro es compleja. La apreciación que tiene el

consumidor del color de la carne se ve influida por el grado de infiltración grasa (marmoreado) de la pieza muscular, de modo que valores superiores al 2.5% de contenido de grasa de infiltración aumentan la reflectancia de la luz y en consecuencia proporcionan un aspecto más claro a la carne (Barton-Gade, 1981).

En España el color claro está asociado a carnes de animales jóvenes y por tanto apreciadas, incidiendo de este modo y de forma notable en los precios (Colomer-Rocher, 1978), contrariamente a otros países comunitarios, donde se aceptan con mayor facilidad carnes más oscuras. La carne de los corderos de procedencia anglosajona (crianza basada en pastoreo) presenta una mayor pigmentación que los de razas españolas (Sierra, 1988).

El sistema de alimentación puede tener un efecto importante en el color de la carne y de la grasa. Díaz *et al.* (2002) observaron que los corderos ligeros criados en pasto presentaban una menor luminosidad (L^*) que los corderos alimentados únicamente a base de concentrado. Similares resultados fueron observados por Priolo *et al.* (2002), los cuales asumieron que dicho resultado podría estar ligado al pH, ya que un valor alto de este parámetro se correspondía con un color oscuro de la carne (Ledward *et al.*, 1986). También la actividad física realizada en los animales de sistemas extensivos podría favorecer el color más oscuro de la carne (Vertergaard, *et al.*, 2000; Ripoll *et al.*, 2008a), con una mayor concentración de pigmentos hemínicos (Renner, 1986). A pesar que se espera un efecto de la alimentación forrajera sobre el color de la carne, en algunos estudios no se ha observado un efecto claro.

Por otro lado, también es importante considerar que los cambios en el color de la carne están muy relacionados con la oxidación de los lípidos y de los pigmentos (Buckley *et al.*, 1995) así como con la carga bacteriana (Brewer *et al.*, 2002). De hecho, tres de los factores más importantes que limitan el tiempo de vida de la carne fresca son el color, el crecimiento microbiano y la oxidación lipídica. La bibliografía señala que dietas con antioxidantes tanto naturales (pastoreo) como artificiales (suplementación con vitamina E) incrementan la estabilidad de los lípidos y del color de la carne a lo largo del tiempo (Resconi, 2007). La vitamina E, como antioxidante primario liposoluble, y el α -tocoferol, su forma más activa biológicamente, han demostrado que su deposición en los tejidos evita la oxidación de los lípidos y pigmentos al actuar directamente sobre la membrana celular (Higgins *et al.*, 1998).

4.1.4. Textura

Los atributos que más influyen en la decisión de compra del consumidor son el color, la ternera y el flavor. Pero no todos los autores están de acuerdo con la importancia de cada uno de ellos. Para algunos autores (Pearson, 1966; Prescott y Hinks, 1968; Ouali, 1991; Lawrie, 1998) la ternera y color de la carne son los parámetros que determinan las preferencias del consumidor. Otros señalan la ternera el elemento prioritario (Dransfield *et al.*, 1984, Seideman *et al.*, 1989) y además opinan que la ternera y el flavor son para los consumidores los elementos más importantes de la calidad sensorial, mientras que el color es el atributo valorado en el punto de compra (Glitsch, 1997).

Después de la muerte del animal el proceso de transformación del músculo en carne pasa por dos fases concomitantes: el *rigor mortis*, que conduce a la acidificación y pérdida de la elasticidad del tejido muscular, y la maduración, que origina un aumento gradual de la ternera. En esta última fase se producen una serie de cambios estructurales y bioquímicos en la fibra muscular. La naturaleza y alcance de estos cambios y, por tanto la calidad de la carne, están muy influenciados por la especie animal y las características fisiológicas y bioquímicas del músculo, así como por el binomio pH-temperatura *post mortem*. Según Shackelford *et al.* (1991) y Koohmaraie (1992) hay evidencias de que el sistema proteolítico de las calpaínas es responsable de la proteólisis *post mortem* de las proteínas endógenas del músculo esquelético.

Según referencias de algunos autores, el aumento del plano nutricional mejora la ternera de la carne como efecto del incremento del contenido de grasa intramuscular (Fishell *et al.*, 1985; Kinsella, 1988). Se considera que las canales magras presentan un menor espesor de grasa subcutánea y menor grado de marmoreo, siendo afectadas negativamente por el enfriamiento, lo cual causa un acortamiento de las fibras musculares que perjudica la ternera de la carne, mientras que las canales engrasadas están notablemente más protegidas (Kadim *et al.*, 1993). Crouse *et al.* (1978), Summers *et al.* (1978) y Kemp *et al.* (1981) obtuvieron carne más tierna en corderos alimentados con dietas altas en energía respecto a los de dietas bajas en energía. Contrariamente Solomon *et al.* (1986) y Solomon y Lynch (1988) observaron que en corderos alimentados con dietas ricas en alfalfa se obtenían unas canales más magras y tiernas que las obtenidas con dietas a base de concentrado. Dubeski *et al.* (1997) atribuyen este resultado a similares tasas de crecimientos en ambos sistemas de alimentación. Además algunos estudios muestran la relación positiva que existe entre la ternera de la carne y el

nivel de proteína de la dieta (Kemp *et al.*, 1976) y la actividad física del animal (Aalhus *et al.*, 1991).

4.2. Características químicas

4.2.1. Composición química

Es importante conocer la composición química de la carne para determinar su valor nutricional en la dieta humana. La presencia de grasa intramuscular en la carne está ligada a la aceptabilidad de la misma, ya que la grasa participa en el aroma y en la jugosidad de la carne.

Las proporciones de proteína de la carne tienden a disminuir con el aumento de la edad, a cambio de un incremento de las proporciones de grasa, por lo que comercialmente resulta beneficioso sacrificar los animales a edades jóvenes (cuanto tengan el peso de canal requerido por el consumidor). El sistema de producción afecta a la composición química de la carne. Dietas altamente energéticas producen un mayor contenido de grasa de la canal y la carne, originando un descenso de la proporción de proteína y humedad. Murphy *et al.* (1994b), Rowe *et al.* (1999) y Macedo *et al.* (2000) encontraron que el sistema de alimentación no afectaba al contenido proteico de la carne pero sí al contenido de grasa intramuscular, mostrando valores más altos en la carne de los corderos alimentados con concentrado que en la carne de los de pastoreo. Además Rowe *et al.* (1999) encontraron correlaciones negativas entre la grasa intramuscular y la humedad o la proteína de la carne, independientemente del sistema de alimentación.

4.2.2. Perfil de ácidos grasos

La composición del tejido adiposo es importante por su repercusión en la salud humana, siendo importante el estudio de los factores que contribuyen a su variación. Se ha demostrado que los ácidos grasos (FA) individualmente afectan en diferente magnitud a la aparición de hipercolesterolemia (Hegsted *et al.*, 1965) y que dietas ricas en ácidos grasos saturados (SFA) se asocian con un aumento de los niveles de colesterol en plasma (Keys *et al.*, 1986) aunque el mayor daño arterial se produce por las lipoproteínas de baja densidad (LDL-colesterol). Un aumento en la proporción de ácidos grasos polinsaturados (PUFA) en la dieta con disminución de SFA es buena forma de reducir los niveles de colesterol en plasma (Schonfeld *et al.*, 1982).

Por otra parte, los lípidos musculares influyen de gran manera en la formación de los sabores desagradables, también llamados “Warmed-over Flavor” o “WOF” (Pearson,

1977). Además influyen en el color, puesto que el metabolismo más aeróbico de los músculos rojos u “oscuros” comparado con los músculos blancos o “luminosos” se asocia no sólo con mayores concentraciones de mioglobina, sino también con mayores proporciones de lípidos (Allen y Foegeding, 1981).

Los SFA mayoritarios en la grasa de origen animal son los ácidos laúrico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y araquídico (C20:0). Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) más importantes cuantitativamente son los ácidos palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1) y de los PUFA, los ácidos linoleico (C18:2), linolénico (C18:3) y araquidónico (C20:4). Los ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono mayoritarios en la grasa animal son el pentadecanoico (C15:0) y el heptadecanoico (C17:0) (Body, 1988). En general, los SFA y MUFA son los mayoritarios en la carne de los animales domésticos, siendo el ácido oleico el mayoritario en la carne de cordero (aproximadamente el 40% del total) (Lough *et al.*, 1992; Solomon *et al.*, 1992). El contenido lipídico de los forrajes es bajo, ya que su contenido en materia seca varía entre 1.4% y 5.1% (Bredon, 1987). Contienen aproximadamente un 53% de ácido linolénico (C18:3), un 13% linoleico (C18:2) y un 10% de oleico (C18:1), lo que los convierte en los ácidos grasos mayoritarios en el forraje. Según Casey (1988), la alimentación con forraje influye en el contenido en ácido linoleico (C18:2) de la carne, lo que estaría de acuerdo con la hipótesis de Moore y Christie (1984), según la cual una proporción de los PUFA ingeridos (10%) pueden fluir a través del rumen.

En los rumiantes adultos en condiciones normales de manejo, sólo pequeñas cantidades de PUFA de la dieta llegan al intestino delgado. Pero aumentando la proporción de concentrado o de cereales en la ración aumenta el nivel de insaturación de los depósitos por las modificaciones de las reacciones bioquímicas en el rumen (Arousseau, 1981). Es así como ciertos PUFA pueden escapar al fenómeno de hidrogenación que tiene lugar a nivel del rumen, encontrándose incorporados en los lípidos de estructura de los microorganismos y ser depositados en los tejidos adiposos. Por tanto, la proporción de concentrado y forraje en la dieta no sólo modifica la proporción de tejido adiposo sino que puede tener un efecto en la composición de FA de los depósitos grasos (Wood, 1984; Botkin *et al.*, 1988).

Existen evidencias que el sistema de producción de corderos basado en una alimentación a base de concentrado puede verse acompañado por mayores niveles de oleico (C18:1) y linoleico (C18:2) en los depósitos grasos (Arousseau *et al.*, 2007a, b; Wood *et al.*, 2008).

Velasco *et al.* (1999) y Díaz *et al.* (2002) en corderos ligeros encontraron en corderos criados en confinamiento una menor proporción del ácido esteárico (C18:0) y mayor proporción de palmítico (C16:0) y linoleico (C18:2) que en los de pastoreo. Wood *et al.* (1991) además señalan una disminución de los ácidos palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) con el incremento del plano de alimentación. El pastoreo generó una alta proporción del total de SFA y baja proporción del total de PUFA. Okeudo *et al.* (1994) también encontraron más SFA que PUFA en la grasa de corderos en pastoreo. Según refieren Petrova *et al.* (1994), las dietas a base de concentrado generan una alta cantidad de carbohidratos disponibles, los cuales acortan el tiempo de permanencia del alimento en el rumen y decrece la biohidrogenación de PUFA. Mayores contenidos en oleico, linoleico y menores en linolénico en corderos alimentados con pienso concentrado (cebada, maíz, soja), se han visto acompañados por una grasa de consistencia más blanda y aceitosa, contrariamente a lo que ocurría con los de pradera (alfalfa o rye grass) (Valderrábano y Folch, 1984; Field *et al.*, 1992). Las dietas ricas en forraje estimulan la actividad ruminal y consecuentemente la biohidrogenación de los FA elevando la concentración de los de naturaleza saturada (Kemp *et al.*, 1981) y haciendo que la grasa depositada sea de consistencia dura.

4.2.3. Efecto de la lactación sobre el perfil de ácidos grasos de la carne de los corderos

La bibliografía señala que la composición del forraje y concentrado aportado a las madres en lactación es el factor que incide en mayor medida en el contenido en ácidos grasos de la leche. Por tanto el perfil de ácidos grasos tanto de la carne como de los depósitos adiposos en animales pre-rumiantes es un fiel reflejo del perfil de ácidos grasos de la dieta láctea recibida, la cual es especialmente rica en ácidos grasos de cadena corta y media (láurico: C12:0, mirístico: C14:0 y palmítico: C16:0) (Body, 1988; Pérez *et al.*, 1989, Scerra *et al.*, 2007). Pues, los corderos pre-rumiantes utilizan grasa sin mucha modificación digestiva, como en los mamíferos no rumiantes (Royas *et al.*, 1994) ya que el rumen de los corderos lactantes aún no es funcional y la dieta con ácidos grasos insaturados no pasan a la masiva hidrogenación llevada a cabo por los microorganismos ruminales. Napolitano *et al.* (2002) demostró que el perfil de ácidos grasos de los corderos alimentados con leche artificial (40 días de edad) poseía mayor contenido de PUFA $n-6$ y menor contenido de PUFA $n-3$, respecto a los corderos no destetados lo cual estuvo asociado con el perfil de ácidos grasos de la leche.

Por otro lado la composición de ácidos grasos puede depender del tiempo de lactación y del tipo de alimento consumido. Si bien la composición de la grasa en corderos lactantes está relacionada a la leche materna (Velasco *et al.*, 2001), ésta puede ser modificada por el suplemento que reciba el cordero. En corderos destetados el ratio concentrado/forraje modifica la proporción de ácidos grasos en el tejido adiposo; incrementándose los MUFA cuando en la dieta se va incrementando el concentrado (Sauvant y Bas, 2001). Cuando se comparó el perfil de ácidos grasos de corderos destetados y corderos sin destetar, Napolitano *et al.* (2002) y Velasco *et al.* (2004) encontraron que los ácidos grasos de cadena media como el mirístico (C14:0) y el palmítico (C16:0) fueron predominantes y el ácido esteárico (C18:0) se encontró en menor proporción en los corderos no destetados respecto de los destetados. Además, Velasco *et al.* (2004) señala que los corderos no destetados tenían menor proporción de PUFA n -6 respecto del PUFA n -3, como consecuencia de la mayor ingesta de hierba que concentrado. Y según refieren Bas y Morand-Fehr (2000), el perfil de ácidos grasos de los tejidos el cual es reflejo del periodo de alimentación a base de leche, gradualmente desaparece después del destete y generalmente el mismo tipo de dieta tiende a tomar similares efectos sobre la composición de ácidos grasos.

4.2.4. Calidad nutritiva de la carne

Está ampliamente aceptado que la alimentación a base de pasto puede generar efectos positivos y benéficos sobre la calidad de la carne desde la perspectiva nutricional, particularmente relacionado con el perfil de ácidos grasos (Aurousseau *et al.*, 2007a,b; Wood *et al.*, 2008) y el contenido de antioxidantes que también mejora ciertos aspectos de calidad de la carne (Buckley *et al.*, 1995; Wood y Enser, 1997; Santé-Lhoutellier *et al.*, 2008).

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

Diversos autores coinciden en que la ingestión de ácidos grasos de naturaleza saturada está relacionada con el incremento de los niveles de colesterol sérico en sangre (Castelli *et al.*, 1977). Sin embargo, los ácidos grasos saturados de menos de 12 átomos de carbono no tienen efecto sobre los niveles de dicho colesterol, mientras que los ácidos grasos como el mirístico (C14:0) y el palmítico (C16:0) resultan ser hipercolesterolémicos (Smith, 1991). Keys *et al.* (1986) y Bonanone y Grundy (1987) añaden que el ácido esteárico (C18:0) no afecta a los niveles de colesterol en sangre ya que por acción de la enzima 9-desaturasa se convierte en ácido oleico (C18:1), contribuyendo incluso a la disminución del contenido de lipoproteínas de baja densidad (LDL) asociadas a las enfermedades cardiovasculares (Wieland *et al.*, 1980; Smith, 1993). Kritchevsky (1988) comprobó que los PUFA disminuyen los niveles plasmáticos de colesterol, aparentemente al mejorar el receptor de LDL y facilitar la excreción de colesterol por medio de los ácidos biliares. Los MUFA y los PUFA pueden ser considerados ácidos grasos deseables para la salud humana al estar relacionados con bajos niveles de colesterol en sangre (Rose, 1990), lo cual favorece por una parte la reducción de incidencia de enfermedades coronarias y por otra mejora las propiedades sensoriales de la carne (Rhee *et al.*, 1990; Ziprin *et al.*, 1990; Shackelford *et al.*, 1991).

En las recomendaciones dietéticas la ingestión de SFA no debe exceder del 10% de las calorías, así como la ingestión de PUFA tampoco, siendo la composición ideal restante de la dieta grasa en forma de MUFA. Aunque la función del colesterol de la dieta como contribuyente al colesterol plasmático es cuestionable, se recomienda limitar la ingestión a 100 mg/1000 Kcal, no excediendo de 300 mg/día (Sociedad Española de Cardiología; NSA/NRC, 1988).

Una forma de valorar la calidad nutritiva de la grasa en la dieta es a través de los índices PUFA/SFA, ácido linoleico/ácido linolénico y el índice PUFA $n-6$ / PUFA $n-3$. Generalmente ratios PUFA/SFA de 0.45 o ligeramente por encima son recomendados por el Departamento de Salud (Department of Health, 1994), asimismo ratios $n-6/n-3$ por debajo de 1 ó 2.

Díaz *et al.* (2002) comparando la carne de corderos al pastoreo con la de corderos en confinamiento encontraron que el índice PUFA/SFA muestra diferencias poco significantes atribuibles a los sistemas de producción y sólo existieron diferencias a nivel de la grasa subcutánea pero no a nivel de grasa intramuscular. Por otro lado, el índice que encontraron tanto a nivel intramuscular como subcutáneo en ambos sistemas de

producción (0.25) se encuentra por debajo del límite recomendable para evitar las enfermedades cardiovasculares (0.45) según el British Department of Health (1994). La grasa intramuscular de los corderos en pastoreo presentó una menor y más adecuada ratio $n-6/n-3$ que la de los corderos alimentados con concentrado (3.16 y 4.53, respectivamente). El efecto de la dieta sobre esta ratio sugiere que las dietas basadas en forraje llevan a incrementar la concentración tisular de PUFA $n-3$, mientras que aquellas basadas en concentrado llevan a incrementar la concentración tisular de PUFA $n-6$ (Mitchell, 1991). Estas diferencias reflejan la composición de los lípidos de la dieta.

La hierba contiene un alto nivel de ácido graso linolénico, el cual es precursor de los FA de la serie $n-3$; contrariamente, los concentrados son ricos en linoleico (C18:2), precursor de los ácidos grasos de la serie $n-6$ (Rhee, 1992). Estas variaciones en la composición de la grasa son responsables de las características de sabor de la carne.

4.3. Características sensoriales

Los lípidos musculares influyen en la jugosidad y, por tanto, en la ternura de la carne (Blumer, 1963; Pearson, 1966; Kinsella, 1988), que se percibe como un conjunto de sensaciones táctiles que resultan de la interacción de los sentidos con las propiedades físicas y químicas de la carne, entre las que se incluyen la densidad, la dureza, la plasticidad, la elasticidad, la consistencia, la cantidad de grasa, la humedad y el tamaño de las partículas de la misma. Por otro lado para la mayoría de los autores la grasa parece ser la responsable del desarrollo del flavor característico de la carne en cada especie animal (Chang *et al.*, 1980; Van den Ouweland y Peer, 1975; Brennand *et al.*, 1989). Para otros autores, los precursores del flavor característico de cada especie están presentes en el músculo en cantidades pequeñas (aminoácidos y carbohidratos) y son transportados hasta los depósitos de grasa intramuscular más cercanos donde se acumulan en cantidad suficiente contribuyendo al flavor de la carne (Wasserman y Spinelli, 1972).

Cuando se estudia el flavor de la carne es importante distinguir entre el enfoque analítico, que intenta describir un producto independientemente de su apreciación y el enfoque hedónico, que está ligado a las preferencias del consumidor (Denoyelle, *et al.*, 2000).

Por lo general los consumidores de carne roja consideran que la carne de los animales criados sobre pasto es diferente que la de los animales criados a base de concentrado, relacionando la carne de los animales de pastoreo con la dureza y sabores más intensos. Keane y Allen (1999) refieren que en la Unión Europea existe una percepción entre los

consumidores de que la carne de los animales producidos menos intensivamente tiene mejor sabor. Contrariamente, en los Estados Unidos la carne de los animales acabados en pastoreo es menos aceptada por su intenso flavor que la de los animales de concentrado (Mandell *et al.*, 1998). Algunas diferencias de flavor entre la carne producida a base de concentrado o a base de pastoreo se dan principalmente a través de dos descriptores del flavor “a hierba” o “corral”, los cuales son más fuertemente percibidos en la carne de los animales acabado en pastoreo.

La carne cocinada de cordero tiene un flavor muy característico y, si es muy intenso, supone motivo de rechazo por parte del consumidor. Entre los compuestos responsables del aroma de la carne de cordero se encuentran compuestos volátiles (alcanos, aldehídos, cetonas, alcoholes y lactosas) derivados de la oxidación de los ácidos grasos de naturaleza insaturada y derivados (Caporaso *et al.*, 1977), así como cadenas ramificadas e insaturadas de ácidos grasos de 8 a 10 átomos de carbono (ácido 4 metiloctanoico y ácido 4 metilnonanoico) (Johnson *et al.*, 1977; Bailey *et al.*, 1982).

Terrell *et al.* (1968) y Allen (1990) no encontraron relación entre la composición en ácidos grasos de la grasa subcutánea e intramuscular y el flavor de la carne de cordero, mientras que Dryden y Marchello (1970) hallaron una correlación positiva entre el contenido de ácido oleico (C18:1) de la grasa del depósito intramuscular y la intensidad de flavor de la carne de ganado bovino, señalando que en el M. *Longissimus dorsi* los altos contenidos de ácido oleico eran valorados positivamente por los panelistas, mientras que los altos contenidos en ácido mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) se valoraban negativamente (Westerling y Hedrick, 1979).

Asimismo, Marmer *et al.* (1984) indica que existen implicaciones importantes del flavor con los productos de oxidación del ácido linolénico (C18:3) los cuales han sido asociados con los sabores de la carne como resultado de la formación de componentes volátiles durante la cocción. La degradación oxidativa de los ácidos grasos con la formación de un radical alquilo a partir de un ácido graso polinsaturado ocurre más rápidamente que en el oleico o linoleico (Elmore *et al.*, 2000).

5. Trazabilidad del sistema de producción

La trazabilidad es un importante componente en la política de calidad de los productos agropecuarios. Está definido por el estándar internacional ISO 8402 como la habilidad

para trazar la historia, aplicación, o localización de una entidad por medio de identificaciones guardadas (Charlier, 2003).

La investigación en la trazabilidad de las dietas alimenticias en la carne y leche de los herbívoros es una respuesta a la demanda del consumidor por una información clara y garantizada acerca del modo de producción de los animales y particularmente de las dietas que éstos consumen. En este contexto hay una necesidad de herramientas de autenticación para garantizar objetivamente que las especificaciones indicadas se encuentran realmente en el producto. Los primeros resultados indican que es posible trazar las dietas alimenticias en la carne y leche de los herbívoros utilizando métodos analíticos que cuantifican directa o indirectamente los trazadores en los productos o tejidos animales. También hay resultados que indican que es muy útil el uso combinado de diferentes trazadores en los tejidos.

El perfil de ácidos grasos de la carne y la leche puede ser fuente útil de información relevante acerca de la naturaleza de las dietas animales. Los lípidos de los pastos contienen altas proporciones del ácido graso insaturado linolénico (C18:3n-3), un componente no sintetizado por los animales. Las dietas ricas en granos contienen altas proporciones de ácido linoleico (C18:2n-6). Por tanto, los animales de pastoreo tendrán mayores proporciones de C18:3n-3 en sus depósitos adiposos que aquellos de estabulación con dietas a base de concentrado (Wood and Enser, 1997). Además, los derivados del C18:3n-3, como el ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5) y el ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6) también están presentes en los animales de pastoreo (Elmore *et al.*, 2000). Basándose en estos resultados algunos investigadores sugieren que estos parámetros y la ratio $n-6/n-3$ podrían ser utilizados para discriminar la carne de los corderos de pastoreo de los de concentrado (Wood *et al.*, 2003; Santos-Silva *et al.*, 2002b; Aurousseau *et al.*, 2004). Sin embargo, Scollan *et al.* (2001) ha demostrado que la inclusión de aceite de lino (rico en ácido linolénico) en el concentrado, podría afectar la fiabilidad de la discriminación basada en el perfil de ácidos grasos de la leche o la carne. Son necesarios más experimentos para aclarar estas dudas.

Por otro lado, se están estudiando algunos biomarcadores vegetales (carotenoides, terpenos, fenoles), que no pueden ser sintetizados por los animales, pero que sí están presentes en los productos o tejidos animales como consecuencia de la ingestión de pasto fresco en la alimentación. Estos micronutrientes son almacenados en el tejido adiposo de los animales y los podemos encontrar en la leche y la carne. Prache *et al.*

(1999) señalan que los carotenoides pueden actuar como biomarcadores de trazabilidad de los sistemas de producción de corderos basados en el pastoreo. Detectaron carotenoides en un 97% de las muestras de sangre de los corderos de pastoreo y no los encontraron en un 93% de los corderos alimentados con concentrado. Asimismo indican que la concentración de carotenoides en el plasma decrece cuando los animales de pastoreo pasan a acabado en condiciones de estabulación y con una dieta a base de concentrado.

Los carotenoides son los responsables directos del color amarillento de la grasa de los animales de pastoreo. Aunque las diferencias en el tono amarillo por efecto de los sistemas de alimentación (Prache *et al.*, 2005) pueden en algunos casos pueden pasar desapercibidos a la apreciación visual humana (Joy *et al.*, 2007; Carrasco *et al.*, 2008c), la evaluación instrumental (espectrofotómetro) casi siempre encuentra diferencias entre los animales de pastoreo y los de confinamiento para los parámetros de color referentes al amarillo (b^*) Ripoll *et al.* (2008a,b), han demostrado que es posible discriminar la carne de corderos ligeros de raza Rasa Aragonesa de pastoreo de alfalfa (sólo pastoreo o pastoreo suplementado) de la carne de los animales de concentrado, a través de una regresión logística que incluye las variables de color de la grasa además del valor absoluto de la integral del espectro traducido.

II. Objetivos

El objetivo general fue estudiar la influencia del sistema de alimentación sobre los parámetros productivos y las características de la canal y de la carne en corderos ligeros de la raza Churra Tensina. Además se valorará la viabilidad de la utilización de algunas características particulares, para asegurar la trazabilidad de los sistemas de producción.

En la persecución de dicho objetivo, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Estudiar los efectos del sistema de alimentación sobre el crecimiento de los corderos, la calidad de la canal y la distribución de sus depósitos adiposos.
- 2.- Evaluar la variación de la distribución de músculo, grasa y hueso en las canales de los corderos ligeros en función del sistema de alimentación.
- 3.- Determinar ecuaciones de predicción para la cantidad y proporción de músculo, hueso y grasa de la canal, a partir de la composición tisular de las piezas de la canal y a partir de medidas subjetivas y objetivas de la canal.
- 4.- Estudiar el efecto de los sistemas de alimentación sobre la respuesta al estrés para el periodo comprendido entre la finalización del proceso productivo y el sacrificio, así como sobre el color de la grasa subcutánea y características instrumentales de la carne. Adicionalmente se estudió la capacidad de estas variables para discriminar los sistemas de alimentación.
- 5.- Analizar el efecto del sistema de alimentación sobre la composición química, el perfil de ácidos grasos, el valor nutritivo y la calidad sensorial de la carne. Además, se evaluó el perfil de ácidos grasos como una herramienta de trazabilidad de la carne.

III. Material y Métodos

1. Instalaciones experimentales

Para realizar el experimento se han utilizado distintas instalaciones. El desarrollo experimental de los sistemas de alimentación se realizó en la Finca experimental “La Garcipollera”. El posterior sacrificio y los análisis químicos se realizaron en el matadero experimental y en el Laboratorio de valoración nutritiva de alimentos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA) del Gobierno de Aragón en Montañana (Zaragoza), respectivamente. Finalmente, la valoración sensorial de la carne realizada por un panel de expertos se realizó en la sala de catas de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza.

La finca experimental “La Garcipollera”, está situada en Bescós de la Garcipollera (Jaca) (42°37'N, 0°30'O), en el Pirineo oscense, a una altitud de 950 m. Dicha finca se encuentra a una distancia de 180 km de las instalaciones que tiene el CITA en Montañana (Zaragoza). El clima es de montaña mediterránea, con inviernos fríos y prolongados y veranos secos y cálidos (Casasús *et al.*, 2002). La precipitación media anual en los cinco años anteriores al estudio (1999-2003) fue de 1168 mm, distribuida bimodalmente con máximas en primavera y otoño; durante el invierno las precipitaciones pueden ser también en forma de nieve. La temperatura media anual fue de 11,2 °C (Figura 1). Este patrón es semejante al descrito por Casasús *et al.* (2002) y Blanco (2007) en la misma estación para el periodo 1988-1996 y 1999-2006 respectivamente.

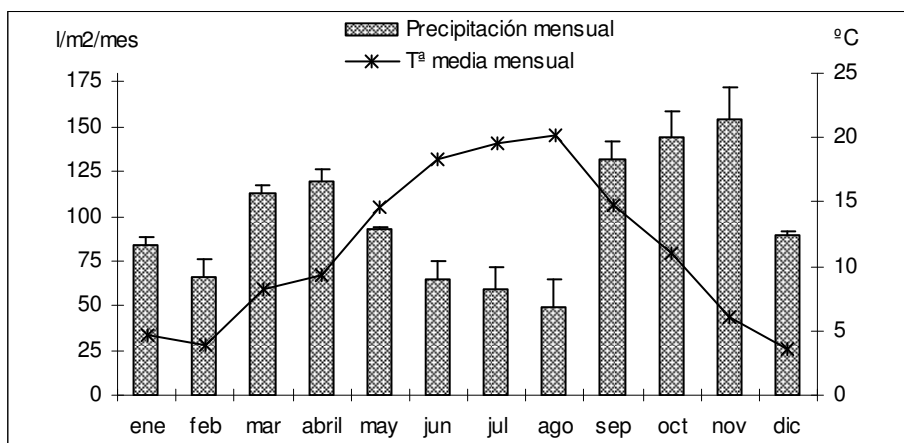


Figura 1: Diagrama ombrotérmico de la Estación Meteorológica de Bescós “La Garcipollera” durante el periodo 1999-2003 (Álvarez-Rodríguez, 2005)

2. Manejo del rebaño experimental

El rebaño experimental constaba de 250 ovejas de raza Churra Tensina. El CITA inició el estudio de dicha raza en los años 90 por ser considerada una raza autóctona en peligro de extinción (Catalogo oficial de ganado de España) y dado que la información científica referente a ella era muy escasa (Sierra, 1973; Olleta, 1988). Los estudios intentaron caracterizar los parámetros morfogenéticos, productivos y reproductivos de la raza en el sistema de manejo y alimentación practicado en la finca.

El sistema de explotación de la finca es el siguiente: de octubre a junio las ovejas permanecen en pastoreo permanente en praderas de fondo de valle y zonas boscosas adyacentes, teniendo acceso libre al cobertizo (Álvarez-Rodríguez, 2005). Cuando decrece la producción forrajera y/o aumentan las necesidades de los animales (épocas de partos), las ovejas son suplementadas en aprisco (0,5 kg/d de alfalfa deshidratada por oveja) (Casasús *et al.*, 1996). A principios de julio, tanto ovejas adultas como corderas de reposición se trasladan a los puertos, donde permanecen hasta octubre, mes en el que vuelven a las praderas de valle. La estabulación permanente únicamente se realiza en la época de partos de las ovejas primíparas (Casasús *et al.*, 1994).

El objetivo del manejo reproductivo es la obtención de un parto por oveja y año. Para ello se tiene un período de cubriciones de aproximadamente 45 días desde la bajada de puerto (fin de octubre) hasta diciembre, consecuentemente los partos se dan a inicios de primavera (marzo-abril).

Los corderos pastan con las madres y disponen de acceso libre a una tolva con pienso situado en la pradera. Los corderos no destinados a reposición se venden en el mes de junio. Las corderas de reposición suben a puerto con sus madres, destetándose en octubre (Casasús *et al.*, 1994).

3. Los animales y diseño experimental

A inicios de primavera y una semana antes del periodo de parto, las ovejas se estabularon y recibieron diariamente 1 kg de alfalfa y heno de cebada *ad libitum*. Después del parto, los corderos recibieron una dosis de selenio y se mantuvieron estabulados con sus madres durante algunos días para asegurar la toma del calostro. Tras este periodo, fueron seleccionadas 48 ovejas de partos únicos y de corderos machos y distribuidas de forma aleatoria en 4 tratamientos (n=12). Los grupos se

conformaron considerando la fecha de nacimiento y el peso vivo al nacimiento de los corderos. Los partos se concentraron alrededor del 25/03/2004.

Los tratamientos fueron:

Extensivo (GR): Los corderos y las ovejas permanecieron continuamente en la pradera. No recibieron suplementación de concentrado. Las madres se alimentaron únicamente de pasto y las crías de leche materna y pasto hasta el sacrificio.

Extensivo con suplementación para el cordero (GR+S): Las ovejas y los corderos permanecieron permanentemente en la pradera. Las ovejas se alimentaron únicamente de pasto y los corderos dispusieron de leche materna, pasto y pienso comercial *ad libitum* hasta su sacrificio.

Intensivo con las madres en pastoreo (DRL-GRE): Este grupo fue manejado según el sistema de producción tradicional de Aragón: las madres pastorearon durante ocho horas al día (08:00 a 16:00 h) sin los corderos, quienes permanecieron estabulados. Al volver de la pradera, las ovejas recibieron 0,5 kg/día de harina y paja de cebada *ad libitum*. Los corderos fueron destetados a los 45 días de edad.

Intensivo (DRL): Los corderos, junto con sus madres, se mantuvieron siempre estabulados (aprisco de 10 x 10 m²). Las ovejas tuvieron acceso libre a una mezcla seca de unifeed y los corderos a concentrado. Como en el caso anterior, se destetaron a los 45 días de edad.

Todos los animales dispusieron de agua fresca y complemento mineral vitamínico ofrecido a voluntad, cuya composición (en mg/kg de NaCl) fue: Zn (40), I (40), Mn (70), Cu (50), Fe (40), Co (30) y Se (8).

Los corderos de los tratamientos GR+S, DRL-GRE y DRL, recibieron un concentrado de iniciación durante el primer mes y posteriormente, el concentrado de engorde hasta el sacrificio (Tabla 1). El concentrado fue suministrado en tolvas de acceso selectivo para los corderos situadas en la pradera. En los tratamientos DRL-GRE y DRL, tanto madres como corderos recibieron paja de cebada *ad libitum*.

El pastoreo se realizó en praderas polifitas, disponiendo cada lote de una superficie de 0,5 ha, con una carga ganadera de 24 ovejas+corderos/ha en GR y GR+S y de 24 ovejas/ha en DRL-GRE. Las especies más abundantes en dichas praderas son *Dactylis*

glomerata, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*, *Poa pratensis* y *Lolium perenne* (Joy et al., 2004).

Las parcelas fueron abonadas con 30 T/ha de estiércol de vacuno el invierno anterior. Durante el desarrollo de la experiencia no se irrigó ninguna de las parcelas. Se excluyeron todos los datos de un cordero del lote DRL-GRE debido al fallecimiento de éste y los datos desde el sacrificio para adelante de un cordero del lote GR debido a su conservación como macho de reposición para el rebaño experimental.

Tabla 1: Composición química del concentrado de iniciación y de engorde de los corderos.

	Concentrado de iniciación	Concentrado de engorde
Proteína bruta (g/kg MS)	185	175
Grasa bruta (g/kg MS)	47	45
Celulosa bruta (g/kg MS)	36.5	39.5
Cenizas (g/kg MS)	62	58
Aditivos		
Vitamina A (UI/kg)	10000	10000
Vitamina D3 (UI/kg)	2500	2500
Vitamina E (α -tocoferol (mg/kg)	45	28
CuSO ₄ -5H ₂ O (mg/kg)	-	6

Fuente: Álvarez-Rodríguez (2005).

3.1. Controles y medidas realizadas en los corderos

a. Determinación del crecimiento de los corderos

El peso de los corderos se registró en el momento del nacimiento y posteriormente cada semana hasta que alcanzaron el peso vivo de sacrificio, con una balanza electrónica (precisión ± 100 g), siempre a primera hora de la mañana. Las ganancias medias diarias (ADG, en gramos) se calcularon para el período desde el nacimiento al sacrificio del modo siguiente:

$$ADG \text{ (g)} = \frac{\text{Peso vivo fin período (g)} - \text{peso vivo inicio período (g)}}{\text{Duración período (días)}}$$

b. Transporte de los corderos al matadero

Los corderos previamente pesados (LW1) fueron transportados al Matadero Experimental del CITA en Zaragoza. El transporte fue realizado adecuadamente según el reglamento de bienestar animal y las regulaciones de la UE.

No hubo periodo de ayuno previo al sacrificio; por tanto los animales una vez llegados a las instalaciones del matadero fueron pesados (LW2), alojados y alimentados en instalaciones según el tratamiento original hasta su sacrificio. Los corderos de los tratamientos GR y GR+S recibieron alfalfa cortada del día anterior. Los corderos de los tratamientos GR+S, DRL-GRE y DRL dispusieron de concentrado y paja de cebada, siendo el concentrado el mismo que recibieron durante la fase experimental.

Con los pesos obtenidos antes del transporte (en finca) (LW1), en cuanto llegaron al matadero (LW2) y en el momento inmediatamente anterior al sacrificio (LWS) se estimaron las pérdidas de peso debidas al transporte (LW1-LW2), las pérdidas de peso durante el tiempo de espera hasta el sacrificio (LW2-LWS) y las pérdidas totales de peso (LW1-LWS).

c. Valoración del nivel de bienestar animal

Finalizado el proceso productivo, y como parámetro bioquímico asociado a la respuesta de estrés, fue valorado el nivel de cortisol en tres momentos: antes del transporte (BT), después del transporte (AT) y en el momento del desangrado en el sacrificio (S). Para ello se extrajeron muestras de sangre de la vena yugular de cada cordero, en tubos de extracción al vacío con EDTA o directamente del desangrado en el momento del sacrificio. Una vez en el laboratorio, estas muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm durante 12 min en una centrífuga refrigerada (4°C). Tras la centrifugación, se extrajeron las muestras de plasma y se congelaron a -20°C hasta su posterior análisis. Las concentraciones plasmáticas de cortisol se determinaron por enzimoimmunoensayo (EIA) validado para rumiantes (Chacón *et al.*, 2004).

4. Sacrificio de los corderos

El periodo experimental estuvo definido por el peso final de los corderos, que se fijó entre 22 a 24 kg, lo cual asegura su inclusión dentro de la Indicación Geográfica Protegida "Ternasco de Aragón" (entre 18 y 24 kg y edad no superior a 90 días; Reglamento 1107/96/CE).

Los sacrificios fueron organizados semanalmente por grupos de animales según el peso final establecido. Se realizó 20 horas después de su llegada a las instalaciones y respetando la normativa sobre protección de animales en el momento del sacrificio (Directiva 93/119/CE, RD 54/1995).

5. Manejo post-sacrificio

Inmediatamente después del sacrificio, se retiraron de la cavidad abdominal la grasa mesentérica y la grasa omental que rodeaban el aparato digestivo, cuyos pesos fueron registrados y en suma considerados como el peso de la grasa abdominal del cuerpo del animal.

Luego las canales fueron refrigeradas por un periodo de tiempo de 24 h a 4°C de temperatura. Sobre la canal fría se procedió con la evaluación de la calidad de la canal

5.1. Calidad de la canal

5.1.1. Características objetivas

Después del sacrificio se registró el peso de la canal caliente (HCW) y luego del oreo, el peso de la canal fría (CCW). Luego se estimó el rendimiento comercial de la canal ($CCW \times 100 / LWS$) y las pérdidas de peso por oreo $[(HCW - CCW) \times 100 / HCW]$.

El espesor de la grasa subcutánea dorsal, se determinó sobre la media canal izquierda a nivel de la intersección de la 13ª costilla y a 4 cm de la columna vertebral, con la ayuda de un calibre milimetrado (Delfa *et al.*, 1996; Ruiz de Huidobro *et al.*, 2005).

Medidas objetivas de la conformación de la canal: según las recomendaciones de Colomer-Rocher *et al.* (1988), mostradas en la Figura 2.

La valoración instrumental del color de la grasa subcutánea de la canal, fue determinado utilizando un colorímetro Minolta spectrophotometer CM-2006d (Konica Minolta Holdings, Inc, Osaka, Japan) y el espacio de color CIEL*a*b* (CIE, 1986). Este sistema permite identificar el color con la ayuda de las coordenadas L* (claridad), a* (índice de rojo) y b* (índice de amarillo). A partir de estas coordenadas se obtienen los siguientes índices colorimétricos: Saturación (C*) = $(a^2 + b^2)^{1/2}$; Tono (H°) = $\arctg b^*/a^* \times 57.49$. Se realizaron las medidas sobre el acúmulo graso que rodea la cola, evitando las zonas con presencia de manchas de sangre y poco cubiertas de grasa.

La valoración instrumental del color del músculo se determinó sobre la canal entera en el M. *Rectus abdominis* utilizando el mismo equipo que en el caso anterior. Las mediciones se realizaron en la superficie interna del M. *Rectus abdominis*, a la que previamente se le retiró la fascia con la ayuda de un bisturí.

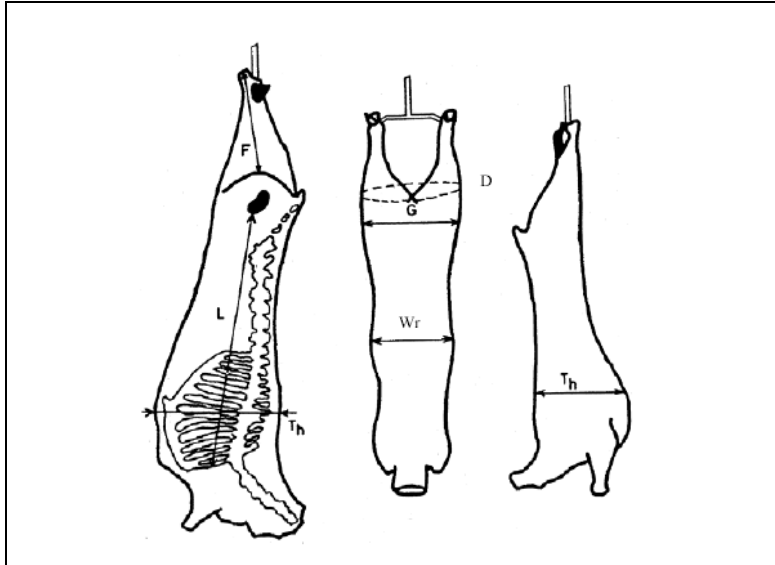


Figura 2. Medidas objetivas de la conformación de la canal; Medidas externas sobre la canal entera: Perímetro de la grupa (**D**), Anchura de la grupa (**G**) y Ancho de tórax (**Wr**). Medidas internas de la media canal: Longitud de la pierna (**F**), Longitud interna de la canal (**L**), Profundidad torácica (**Th**).

5.1.2. Características subjetivas

Como en el caso anterior, sobre las canales refrigeradas, se valoraron subjetivamente bien por apreciación visual bien por apreciación táctil, las siguientes características de calidad:

El estado de conformación, de acuerdo con la escala comunitaria y patrones fotográficos oficiales adoptados por la UE para la clasificación de canales ovinas (DOCE, 1994). Se utilizó la escala SEUROP de 6 puntos, en la que el grado S corresponde a canales de conformación superior y el grado P a canales de conformación inferior. Cada uno de estos puntos se divide en tres niveles (mas, normal, menos) haciendo un total de 18 puntos (1 para P- pobre y 18 para S+: superior).

El grado de engrasamiento de las canales, de acuerdo con la escala comunitaria y patrones fotográficos oficiales adoptados por la UE para la clasificación de canales ovinas de corderos ligeros (DOCE, 1994). Se realizó en base a una escala de 4 puntos, correspondiendo el estado 1 de engrasamiento a canales con una cobertura grasa inexistente o muy escasa y el 4 a canales excesivamente grasas. Como en el caso anterior cada puntuación se dividió, de tal forma que esta escala llega a tener 12 puntos, de manera que el (1-)=1 corresponde a canales de cobertura grasa muy escasa y el (4+)=12 a canales con una cobertura grasa importante.

La consistencia de la grasa subcutánea fue valorada según la metodología propuesta por Colomer-Rocher *et al.* (1988) mediante apreciación táctil de la grasa alrededor del nacimiento de la cola. La escala propuesta es: dura, blanda y aceitosa, valores que a su vez han sido divididos en tres niveles, obteniéndose un total de 9 puntos.

El color de la grasa subcutánea fue estimado por apreciación visual, en el acúmulo de grasa alrededor del nacimiento de la cola, utilizando la escala propuesta por Colomer-Rocher *et al.* (1988): color blanco nacarado, blanco cremoso y amarillo, estando cada valor subdividido en tres niveles, obteniéndose un total de 9 puntos (muy blanca = 1, muy amarilla=9).

El color del músculo se valoró en el M. *Rectus abdominis* a la altura de la ijada, según la escala propuesta por Colomer-Rocher *et al.* (1988) en: rosa pálido, rosa y rojo. Como en los casos anteriores, se ha considerado un total de 9 puntos (rosa muy pálido = 1, rojo intenso = 9).

La cantidad de grasa pélvico-renal, según el método propuesto por Colomer-Rocher *et al.* (1988), valorando la cantidad de grasa que recubre los riñones y la cavidad pélvica. La escala fue: escasa (1), normal (2) y excesiva (3). Al igual que en las anteriores clasificaciones cada valor se dividió en tres niveles.

5.1.3. Composición regional

A las 24 horas *post mortem*, se retiró la cola a nivel de su implante y se dividió la canal en dos partes simétricas mediante corte sagital de la columna vertebral, conteniendo cada una de ellas un riñón y la mitad correspondiente de la grasa pélvico-renal. De ambas medias canales se extrajo, pesó y registró la grasa del canal pélvico-renal.

La media canal izquierda fue dividida en regiones anatómicas, considerando el despiece normalizado descrito por Colomer-Rocher *et al.* (1988) (Figura 3). Estas piezas fueron

pesadas y clasificadas en 3 categorías comerciales: primera (costillar, pierna y badal), segunda (espalda) y tercera (bajos y cuello). Posteriormente las piezas fueron envasadas en bolsas de polietileno y congeladas a -20°C para su posterior disección.

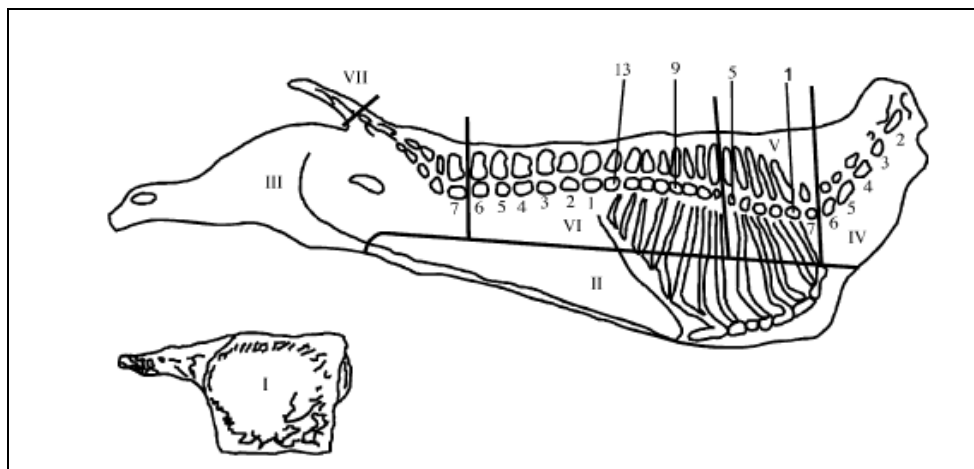


Figura 3. Piezas comerciales de la media canal: I, espalda; II, bajos; III, pierna; IV, cuello; V, badal; VI, costillar (Colomer-Rocher *et al.*, 1988)

Para los cálculos relacionados con la composición regional, se empleó el peso de la media canal corregida, obtenida tras el proceso de disección, que es la suma de pesos de músculo, hueso, grasa y desechos totales de la canal, excluyendo el peso de los testículos, timo y riñón. El peso corregido ha sido utilizado en numerosos trabajos referidos a composición regional y tisular en ovino y bovino (Berg *et al.*, 1978; Wood *et al.*, 1980; Díaz, 2001)

5.1.4. Composición tisular

Las piezas congeladas a -20°C , preparadas durante la fase anterior fueron descongeladas y diseccionadas cada una de ellas con la ayuda de un bisturí, en una sala con temperatura controlada, manteniéndola uniforme a $10-11^{\circ}\text{C}$. A lo largo del proceso las piezas se mantuvieron protegidas con un paño húmedo para evitar las pérdidas por evaporación, consiguiendo de este modo pérdidas menores al 2% del peso inicial de cada pieza. Los tejidos obtenidos fueron:

a.- Tejido muscular: cuya obtención considera la separación individual de los músculos o grupos musculares de cada pieza limpios de restos de grasa. Los ligamentos y tendones

se seccionaron lo más cerca posible del músculo. Se retiraron los grandes vasos y nervios.

b.- Tejido óseo: obtenido tras retirar todo el tejido muscular y graso de los huesos, así como ligamentos y tendones. Los cartílagos fueron incluidos como tejido óseo.

c.- Tejido adiposo: se separaron la grasa subcutánea e intermuscular.

d.- Desechos: considerados como tales los nódulos linfáticos, grandes vasos sanguíneos, nervios, tendones, aponeurosis y fascias.

Para los cálculos relacionados con la composición tisular, se empleó el peso de la media canal corregida, indicado anteriormente.

Además se calcularon las relaciones entre tejidos, músculo/hueso (M/B), músculo/grasa (M/F) y grasa subcutánea/grasa intermuscular (SF/IF).

5.2. Calidad de la carne

5.2.1. Toma de muestras para análisis químico, instrumental y sensorial

A las 24 horas *post mortem*, se extrajo el M. *Longissimus* de la media canal izquierda, se pesó y se dividió en muestras, en sentido cráneo caudal. La distribución y grosor de las muestras de lomo para las distintas pruebas analíticas de la carne se indican a continuación en la Figura 4.

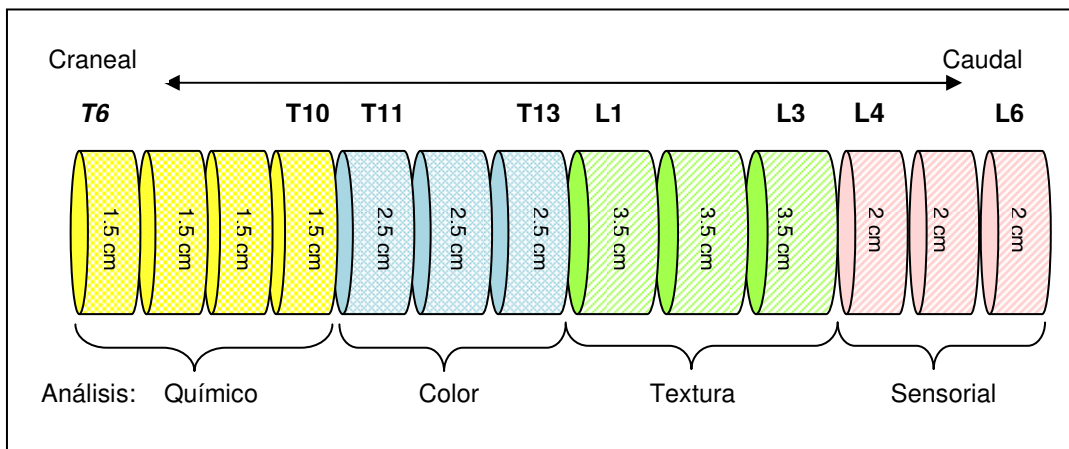


Figura 4: Esquema de distribución y tamaño de las muestras de lomo según su ubicación (vértebras torácicas: T o vértebras lumbares: L) para las distintas pruebas analíticas de la carne.

Las muestras destinadas para el análisis químico fueron envasadas al vacío (-900 mbar de presión) y congeladas a -20 °C hasta el momento de su utilización. Llegado el momento, fueron descongeladas, picadas y liofilizadas.

Las muestras destinadas a la determinación de color fueron colocadas en bandejas de poliestireno expandido y cubiertas con un film permeable al oxígeno, y se mantuvieron así por periodos de tiempo de 0 días (al momento del corte de la carne), 3 y 6 días (4^º y 7^º día *post mortem*), siempre en condiciones de oscuridad y a 4°C, hasta la medida del color.

Las muestras destinados a la medición de la textura fueron envasados al vacío (-900 mbar de presión) y se conservaron a 4°C por un tiempo de maduración de 4 y 7 días y días *post mortem*.

Las muestras para el análisis sensorial se envasaron al vacío y se congelaron a -20°C hasta el momento de su análisis. Estas muestras no tuvieron periodo de maduración.

5.2.2. Análisis instrumental

a. pH

Tras el proceso de refrigeración de las canales (24 h *post mortem*), se midió el pH de la carne en el M. *Longissimus lumborum* de la media canal izquierda a nivel de la 4^a vértebra lumbar. Para ello se utilizó un pH-metro Crison provisto de un electrodo de vidrio de penetración.

b. Color de la carne

El color de la carne fue medida empleando la misma metodología utilizada en la medición del color de la grasa subcutánea.

c. Análisis de textura

Tras el periodo de maduración, las muestras de carne envasados se pesaron y cocinaron en baño María a 75°C durante 45 minutos (temperatura interna de 70°C), la temperatura fue monitoreada con un termopar (Jenway 2000). Posteriormente se enfriaron en agua corriente y se volvieron a pesar. Por diferencia de pesos antes de la cocción y después de la cocción se determinaron las pérdidas de peso por cocinado. Las muestras se

cortaron para obtener prismas rectangulares de 1cm^2 de sección, siguiendo una configuración longitudinal (Lepetit y Culioli, 1994).

La determinación de la textura se realizó empleando un texturómetro INSTRON (serie 5543) provisto de una célula Warner-Bratzler. La fuerza se aplicó perpendicularmente a la dirección de las fibras y se registraron la dureza (energía necesaria para cortar la muestra por unidad de volumen, hasta el punto de carga máxima, expresada en N/cm^2) y el esfuerzo máximo (carga máxima por unidad de sección transversal de la muestra, en N/cm^2).

5.2.3. Análisis químico

a. La composición química de la carne

A partir del peso antes y después de la liofilización se calculó el contenido de humedad de la carne. El contenido de proteína se determinó según el método propuesto por Dumas (AOAC, 1999) y el contenido de grasa intramuscular según el método Ankom (AOCS, 2004).

b. El perfil de ácidos grasos de la carne

La composición en ácidos grasos se realizó mediante la técnica de cromatografía de gases, en la que previamente se realizó una extracción de la grasa y posteriormente una metilación de los ácidos grasos presentes en la misma. El análisis de estos ésteres se realizó con un cromatógrafo de gases SP2330 (Supelco, Tres Cantos, Madrid), provisto de una columna capilar de sílice de 30 m de longitud y un detector de ionización de llama que utiliza como gas portador el helio. Los ácidos grasos fueron expresados en proporción a la cantidad del total de ácidos grasos identificados.

Luego se procedió a calcular la suma total de ácidos grasos saturados ($\text{SFA} = \text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0} + \text{C20:0}$), monoinsaturados ($\text{MUFA} = \text{C16:1} + \text{C18:1}$), y polinsaturados ($\text{PUFA} = \text{C18:2n-6} + \text{C18:3n-3} + \text{C20:4} + \text{C20:5} + \text{C22:6}$). Asimismo se calcularon los ratios nutricionales PUFA/SFA , $\text{C18:2n-6}/\text{C18:3n-3}$ y $n-6/n-3 = (\text{C18:2n-6} + \text{C20:4})/(\text{C18:3n-3} + \text{C20:5} + \text{C22:6})$.

5.2.4. Análisis sensorial

El día de la sesión del panel sensorial, las muestras destinadas para este análisis fueron descongeladas en agua corriente, envueltas en papel de aluminio y cocinadas en un grill

de doble placa precalentada a 200°C hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C, controlada mediante un termopar (JENWAY 2000).

En la prueba participó un panel entrenado de 9 miembros, que valoró los atributos de olor a cordero, olor anormal, terneza, jugosidad, flavor a cordero, flavor a grasa, flavor anormal y apreciación global utilizando para ello una escala estructurada de 10 puntos, en la que 1 representa el valor más bajo y 10 el más alto para el atributo en cuestión. El análisis se realizó siguiendo un diseño completo y equilibrado, obteniéndose un total de 36 juicios por tratamiento.

6. Analisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS (v. 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA).

Para estudiar el efecto del sistema de alimentación sobre las variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM con un intervalo de confianza del 95% ($p < 0.05$). La comparación de las medias de los distintos tratamientos se realizó con la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%.

Para conocer el efecto del momento de toma de muestras (caso del cortisol) y el tiempo de almacenamiento de la carne (para el caso de la evolución del color, pérdidas de cocinado y textura), se ha utilizado un ANOVA de dos vías.

Para conocer el grado de relación entre las variables, se utilizó el análisis de correlación de Pearson.

Las ecuaciones de predicción de la composición tisular de la canal, se ejecutaron a través de un análisis de regresión lineal múltiple y el procedimiento stepwise. Este procedimiento incorporó al modelo las variables con una $p < 0.05$.

Por último, con el fin de intentar diferenciar los sistemas de alimentación, se realizó un análisis discriminante utilizando el paquete estadístico SPSS V.13.0.

7. Metodología de los ensayos

El presente estudio fue dividido en cuatro ensayos:

Ensayo 1. Efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y calidad de la canal de corderos ligeros de la raza Churra Tensina

En este primer ensayo se ha evaluado el rendimiento de los corderos durante el proceso productivo. Para estudiar la calidad de la canal se ha considerado tanto las características objetivas, como subjetivas así como su composición regional. Finalmente se ha estudiado la distribución de los depósitos grasos en el cuerpo del animal (internos y de la canal). El depósito graso interno estuvo constituido por la grasa abdominal (omental y mesentérica) y la grasa pélvico-renal de ambas medias canales; el depósito graso de la canal, por la grasa subcutánea e intermuscular obtenidas tras el proceso de disección. El cálculo de las proporciones se ha realizado considerando el peso total de los depósitos grasos. Esta información ha permitido conocer el grado de deposición de cada depósito graso.

Ensayo 2. Composición tisular de la canal en corderos ligeros: influencia del sistema de alimentación y ecuaciones de predicción

En este ensayo se ha estudiado tanto la composición tisular de las canales como de sus piezas comerciales, así como las relaciones entre tejidos. Con esta información y a través del análisis de regresión se determinaron las ecuaciones de predicción de la composición de tejidos de la canal. Paralelamente se ha calculado estas ecuaciones a partir de las medidas objetivas y subjetivas de la canal.

Ensayo 3. Influencia del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol y la calidad instrumental de la canal y de la carne en corderos ligeros de la raza Churra Tensina

En este ensayo se ha evaluado el nivel de cortisol en tres momentos al final del proceso productivo. Para descartar los efectos del estrés sobre las características de la carne, se han realizado y analizado las correlaciones de estas últimas características con los niveles de cortisol.

Como parte de la valoración instrumental, se ha estudiado el color de la grasa subcutánea, el pH, el color del M. *Rectus abdominis* y M. *Longissimus dorsi*, y la textura de la carne. Además se ha evaluado la variación del color y de la textura de la carne en función del tiempo de maduración. Todas las variables estudiadas han servido para realizar un análisis discriminante con la posibilidad de diferenciar los sistemas de alimentación.

Ensayo 4. Diversificación de los sistemas de alimentación en corderos ligeros: Evaluación del valor nutritivo y características sensoriales de la carne

Se ha estudiado la calidad de la carne desde el punto de vista nutricional y sensorial, estimando el valor nutritivo de la carne a través de la composición química de ésta (es decir su contenido en humedad, proteína y grasa), el perfil de ácidos grasos y en consecuencia las ratios nutricionales. Por otro lado, considerando el perfil de ácidos grasos se ha intentado clasificar los sistemas de alimentación, a través de un análisis discriminante.

IV. Resultados y Discusión

Considerando el formato científico de redacción de Tesis Doctorales, este apartado se presenta en forma de cuatro artículos de investigación elaborados a partir de la información experimental obtenida según el Material y Métodos especificado en la sección anterior.

Ensayo 1. Efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y calidad de la canal de corderos ligeros de la raza Churra Tensina.

Este trabajo ha dado lugar a la publicación "Effect of feeding system on growth and carcass characteristics of Churra Tensina light lambs". S. Carrasco, G. Ripoll, A. Sanz, J. Álvarez-Rodríguez, B. Panea, R. Revilla, M. Joy. Aceptado para su publicación en la Revista Livestock Science DOI: 10.1016/j.livsci.2008.05.017. Disponible on-line desde el 29 de Julio del 2008.

Abstract

Forty-eight single male lambs were used to evaluate the effect of feeding systems on carcass characteristics and fat depots of Churra Tensina light lambs. Four treatments were studied: GR, lambs and ewes were continuously grazing, no concentrate was available to them and lambs were unweaned; GR+S, as the previous one, but additionally lambs had free access to concentrate; DRL-GRE, lambs remained indoors with free access to concentrate and ewes grazed during 8 h a day, thereafter remaining with lambs; DRL, lambs and ewes were kept always in confinement, ewes had free access to dry unifeed and lambs to concentrate. In DRL-GRE and DRL lambs were weaned at 45 days old. When lambs reached 22-24 kg of live-weight they were slaughtered.

Feeding system had effect on growth rates ($p < 0.05$), age ($p < 0.001$) and live weight at slaughter ($p < 0.01$), carcass weight ($p < 0.001$), dressing percentage ($p < 0.001$), fatness thickness ($p < 0.01$) as well as on the subjective classification parameters, as carcass conformation score ($p < 0.001$), fatness degree ($p < 0.01$) and KKCF score ($p < 0.01$), having the GR lambs lower values than the rest of treatments. Nevertheless, carcasses from grazing animals were classified within the normal ranges for Ternasco commercial category similar to drylot systems. Treatment had effect on pelvic ($p < 0.01$) and carcass compactness ($p < 0.001$) being GR carcasses less well conformed. Feeding system affected the total body fat depots ($p < 0.01$), presenting GR the lowest amount. In all treatments, carcass fat depot was greater than internal fat depots (abdominal, pelvic and renal) ($p < 0.05$). Grazing treatments (GR and GR+S) presented higher proportion of anterior-rib and lower proportion of breast in relation to indoor lambs (DRL-GRE and DRL). The feeding system did not affect the proportion of first category of commercial meat. It was concluded that light lamb carcass characteristics were slightly affected by the feeding systems, being carcasses from grazing lambs classified within the normal ranges for Ternasco commercial category, similarly to drylot systems. The small differences among the products of different feeding systems had no commercial constraint in the light lamb meat market.

Key words: grazing, drylot, carcass classification, joints, fat depots.

1. Introduction

Traditional lamb meat production in South European countries, especially in Spain, is based on light lambs (18-24 kg live-weight, younger than 90 days old, Ternasco

commercial category), which are fed on a concentrate-based diet and milk until weaning (around 45 days old) and thereafter with only concentrate. Lamb meat coming from these production systems is characterized by a pale pink colour and fatness degree between slight and average (Community scale for classification of carcasses of light lambs; DOCE, 1994), which meets consumer preferences in such areas (Font i Furnols *et al.*, 2006; Sañudo *et al.*, 2007). The increasing demand for safety meat products, the on-farm cost of purchased feed (as concentrate) and the EU Common Agricultural Policy are stimulating the market interest in pasture-based production systems, which besides produce more healthy meat, with high contents of conjugated linoleic acid and omega 3 polyunsaturated fatty acids (Enser *et al.*, 1998; Demirel *et al.*, 2006; Scollan *et al.*, 2006). Thereby, grass-based systems can be a good alternative to indoor lamb production systems in order to use natural resources and to provide the new meat required by consumers (Grunert *et al.*, 2004) and, additionally, to decrease production costs.

However, carcass and meat quality of lambs are affected by feeding systems mainly with regard to carcass conformation and fatness degree (Ely *et al.*, 1979; Murphy *et al.*, 1994a; McClure *et al.*, 1995; Priolo *et al.*, 2002), and meat and fat colour (Priolo *et al.*, 2002; Ripoll *et al.*, 2005; Joy *et al.*, 2008a). Fat partition within the animal body is known to be affected by feeding system (Murphy *et al.*, 1994b), but the magnitude of this influence remains unclear in light lambs because they habitually suckle their dams until slaughter and most of literature references have dealt with heavy weaned lambs. Likewise, it is widely reported that colour is one of the most important attributes taken into account by consumers in their purchase decision and thus the effect of feeding systems on fat and meat colour should be studied in order to avoid consumer meat rejection.

Churra Tensina sheep is an endangered local coarse-wooled breed (around 5000 heads) mainly reared on mountain conditions in the Pyrenees. Previous studies concerning this breed have demonstrated that spring lambing ewes are able to raise lambs on permanent mountain pastures without penalties on their performance (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2007; Joy *et al.*, 2008a). However, lambs performance, carcass conformation score and fatness degree (according to the subjective classification scale of the EU) was lower in pasture-fed than in concentrate-fed lambs, but nearly undetectable differences were displayed on meat and fat colour when assessed subjectively and using a spectrophotometer (Joy *et al.*, 2008a).

Few documented information is available regarding both subjective and objective carcass and meat characteristics of light lambs from this breed reared under different feeding systems (Olleta *et al.* 1992a; 1992b). Furthermore, in the latter reports flocks were managed according to ancient management systems in which lambs were fattened until heavier live-weights and sometimes castrated. The objective of the present study was to assess the effect of four feeding systems, varying on an extensification gradient according to the use of concentrates, on carcass traits and fat depots of Churra Tensina light lambs.

2. Materials and methods

2.1. Experimental site

The experiment was carried out in “La Garcipollera” Research Station, in the mountain area of the central Pyrenees (North-eastern Spain, 42°37'N, 0°30'W, 945 m a.s.l.) during spring 2004. The previous five years the average annual rainfall was 1168 mm, distributed mainly in spring and autumn with dry summer and some precipitation in form of snow during the winter. The mean annual temperature was 11.2 °C.

2.2. Animal management and experimental design

Forty-eight Churra Tensina spring single-born male lambs were used. After birth, lambs were provided a complement of selenium and remained indoors with their dams for one week to ensure maternal bonding, then they were randomly allocated to four treatments (n=12) taking into account the lambing date and lamb live-weight at born. The treatments were:

1. *Grazing (GR)*: Lambs and ewes were continuously stocked on a permanent pasture. No concentrate was available to dams or lambs. Lambs suckled their mothers and grazed until slaughter.
2. *Grazing with supplement for lambs (GR+S)*: The same management as GR, but these lambs received concentrate *ad libitum* in lamb creep feeders until slaughter.
3. *Indoor lambs with grazing ewes (DRL-GRE)*: Lambs remained indoors and fed creep while ewes grazed during eight hours a day (08:00 to 16:00 h). Thereafter, they received a supplement of 0.5 kg fresh matter of barley meal/day (119 g CP, 248 g NDF, on dry matter basis). This system aimed to reply the commonly used management in that region.

4. *Drylot (DRL)*: Lambs and ewes were kept always in confinement. Ewes had free access to dry unifeed (110 g CP, 681 g NDF, on dry matter basis) and lambs had concentrate *ad libitum*.

During the whole trial, lambs of GR+S, DRL-GRE and DRL had free access to concentrate (185 g and 175 g CP; 190 g and 212 g NDF, on dry matter basis, the first month and subsequently, respectively). In treatments DRL-GRE and DRL, ewes and lambs had *ad libitum* barley straw (37 g CP, 807 g NDF, on dry matter basis) and lambs were weaned at 45 days old. Thereafter, ewes were removed from the experiment. All the animals were supplied fresh water and mineral vitamin supplement *ad libitum*.

The pasture characteristics were broadly described in Alvarez-Rodriguez *et al.* (2007). Briefly, the botanical composition was 68% grass and 20% leguminous. The stocking rate was twenty-four ewes per hectare (0.5 ha/paddock). Herbage mass and quality were non-limiting throughout the experiment, with a mean sward height ranging between 8.4 and 12.7 cm, CP between 179 and 215 g and NDF content between 490 and 524 g, on dry matter basis, depending on the grazing pressure exerted by each treatment.

Lambs were weighed on weekly intervals at 8 h a.m., with an electronic balance (0.1 kg precision). Lambs average daily gain (ADG) was calculated by the difference between final and initial weights divided by the total number of days. Data from one lamb belonging to DRL-GRE treatment was excluded due to the death. Post-slaughter data of one lamb from GR were also missing because it was kept for breeding replacement within the flock.

2.3. Chemical analysis

Food samples were analysed to determine their chemical composition. Dry matter was determined at 60 °C until constant weight; crude protein by Dumas procedure, according to AOAC (1999). Neutral-detergent fibre (NDF) was analysed by the method of Van Soest *et al.* (1991).

2.4. Slaughter procedure, carcass measurements and dissections

Lambs were brought to slaughter at weekly intervals when they reached 22-24 kg of live-weight (LW1). They were transported to the experimental abattoir of the Research Institute in Zaragoza, which is located 180 km away from the farm. The transport was performed according to UE regulations with regard to animal welfare rules. Lambs were weighed at arrival (LW2) and accommodated until their slaughter, according to their original treatment. No fasting period was carried out. Grazing lambs group (GR and GR+S)

received fresh cut alfalfa (vegetative development) and indoor lambs group (DRL-GRE and DRL) were provided the same concentrate than during the experimental period. Twenty hours after their arrival, lambs were weighed again (LWS) and slaughtered according to EU laws. Procedures were conducted according to the guidelines of the Council Directive 86/609/EEC (European Communities, 1986) on the protection of animals used for experimental and other scientific purposes. Losses due to the transport (LW1-LW2), waiting time (LW2-LWS) and total (LW1-LWS) were calculated. After slaughter, hot carcass weight (HCW) and abdominal fat depots weight (omental and mesenteric fat) were recorded. Carcasses were chilled at 4°C during 24 h and then cold carcass was weighed (CCW). Dressing percentage and carcass shrinks were calculated as $CCW \times 100/LWS$ and $(HCW-CCW) \times 100/HCW$, respectively.

Subjective classification of conformation and fatness degree was carried out following the Community Scale for Classification of Carcasses of Ovine Animals and of Light Lambs (DOCE, 1994). The conformation was scored with grade values from 15 for E+ (excellent) to 1 for P- (poor) of the EUROP system (E excellent, U very good, R good, O fair and P poor), and the classification for fatness degree was scored from 1 (1⁻, very low) to 12 (4⁺, very high) of the scale 1 (low), 2 (slight), 3 (average), 4 (high). Subjective fat characteristics (amount, colour and persistence) and meat colour were determined according to Colomer-Rocher *et al.* (1988): amount of pelvic and renal fat from 1 (very low fat) to 9 (very high fat) of low (L), normal (N) and high (H); Fat colour from 1 (very white) to 9 (intensive yellow) of white, cream or yellow classification; Fat persistence from 1 (very hard) to 9 (very oily) of hard, soft and oily; and M. *Rectus abdominis* colour from 1 (very pale pink) to 9 (very dark) of pale pink, pink and other colour classifications.

Objective measurements of carcasses were also recorded: pelvic limb length (F), hindquarter wide (G), carcass internal length (L), hindquarter perimeter (D), thoracic depth (Th), and carcass width (Wr) (Figure 1; Colomer-Rocher *et al.*, 1988). These measurements were used to calculate the following indexes: chest roundness index (Wr/Th), pelvic limb compactness (pelvic limb weight/F), hindquarter wide/pelvic limb length index (G/F), carcass compactness (CCW/L) and hindquarter wide/carcass internal length index (G/L).

The tail was removed and carcass was carefully split longitudinally and the two halves were weighed. Kidney and pelvic fats from the two halves were removed and weighed to obtain the contents of kidney knob and channel fat (KKCF). The subcutaneous fat

thickness (C) was measured with a calliper at 4 cm from the spinal column on the level of 13th rib (Delfa *et al.*, 1996).

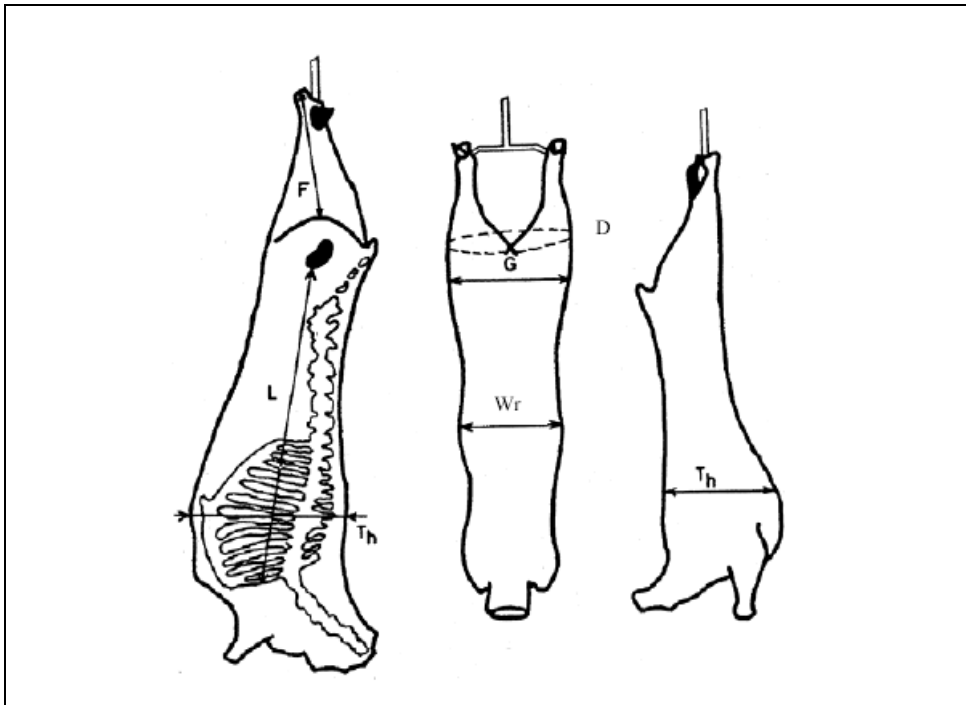


Figure 1. Carcass conformation measurements: external measurements (on whole carcass): D, hindquarter perimeter; G, hindquarter wide; Wr, maximum width carcass. Internal measurements (on half carcass): F, Pelvic limb length; L, half carcass internal length; Th, chest depth. (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).

The left side was cut into six standardized commercial joints: thoracic limb, breast, pelvic limb, neck, anterior-rib, and loin-rib (Figure 2), according to Colomer-Rocher *et al.* (1988). The joints were classified in 1st category (anterior-rib, pelvic limb, loin-rib), 2nd category (thoracic limb) and 3rd category (breast and neck). Each joint was weighed and dissected into muscle, bone, fat (subcutaneous, intermuscular) and waste (major blood vessels, ligaments, tendons, and thick connective tissue sheets associated with some muscle), according to Colomer-Rocher *et al.* (1988).

The total body fat depots were calculated adding the weight of carcass fat depots (intermuscular and subcutaneous fat) and internal fat depots (KKCF and abdominal fat depots). The proportion of the each fat depot was calculated in relation to the total body fat.

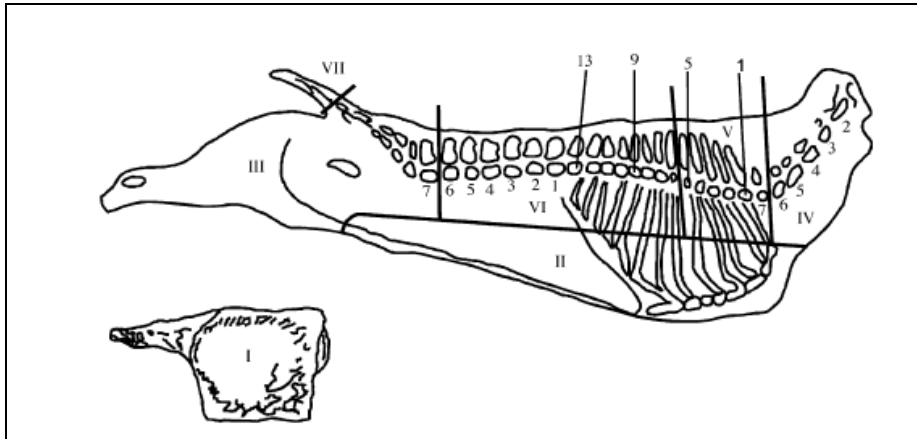


Figure 2. Joints of the lamb half carcass: I, Thoracic limb; II, Breast; III, Pelvic limb; IV, Neck; V, Anterior-rib; VI, Loin-rib. (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).

2.5. Statistical analysis

Statistical analysis was performed by analysis of variance using the GLM procedure of SAS (1999). The effect of feeding system as fixed effect on all variables was analysed according to the following model:

$$Y_{ij} = \mu + D_i + \xi_{ij}$$

Y_{ij} = dependent variable; μ = overall mean; D_i = effect of i feeding system (GR, GR+S, DRL-GRE or DRL); ξ_{ij} = residual error.

Differences with a level of significance below 0.05 were considered significant. Pearson correlations between variables were performed by CORR procedure of SAS package.

3. Results and discussion

3.1. Lamb performance

The mean concentrate intake by lambs during the experimental period was 6.9, 39.3 and 35.0 kg for GR+S, DRL-GRE and DRL respectively. Average daily gain (ADG), age at slaughter and live-weights (at farm, at arrival and at slaughter) (Table 1) were affected by treatment ($p < 0.05$). The ADG of GR+S and DRL-GRE was significantly greater than GR ($p < 0.05$).

Table 1: Least squares means of average daily gain (ADG), age at slaughter, live-weight and weight losses in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
Number of animals	12	12	11	12		
ADG ¹ (g)	261 ^c	313 ^a	299 ^{ab}	282 ^{bc}	9.0	*
Age at Slaughter	76 ^a	63 ^c	66 ^{bc}	72 ^{ab}	2.3	***
Live Weight (kg)						
At farm ² (LW1)	22.7 ^b	23.0 ^{ab}	23.5 ^a	23.7 ^a	0.27	*
At arrival ³ (LW2)	22.0 ^b	22.4 ^{ab}	22.7 ^{ab}	23.1 ^a	0.27	*
At slaughter ⁴ (LWS)	21.6 ^b	22.3 ^a	22.8 ^a	22.9 ^a	0.25	**
<i>Weight losses %</i>						
Transport (LW1-LW2)	3.0	2.1	3.6	2.5	0.52	NS
Waiting (LW2-LWS)	1.9	0.9	-0.4	1.0	0.58	NS
Total (LW1-LWS)	4.9	3.0	3.2	3.5	0.68	NS

SE: standard error; NS: no significant; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

Different superscripts mean significant differences ($p < 0.05$).

¹ ADG: average daily gain.

² LW1: Live-Weight at farm.

³ LW2: Live-Weight at arrival.

⁴ LW3: Live-Weight at slaughter.

Several authors (Ely *et al.*, 1979; Prache *et al.*, 1990; Notter *et al.*, 1991; McClure *et al.*, 1994; Zervas *et al.*, 1999) have reported greater ADG in drylot lambs than in grazing lambs, although they worked with weaned heavy lambs raised on different types of pasture, which may determine the degree of gain reduction. In that sense, Joy *et al.* (2007) found that Rasa Aragonesa lambs grazing alfalfa and suckling their dams until slaughter presented similar growth than that observed in drylot lambs, whereas Churra Tensina lambs grazing on mountain pastures and also suckling throughout the raising period showed a lower ADG in relation to those stall-fed (Joy *et al.*, 2008a). It seems that breed, pasture species and their associated nutritive value, year and management system are important factors that influence lamb ADG. However, when grazing lambs were supplemented with concentrate (GR+S) the ADG increased significantly ($p < 0.05$) in keeping with other authors which embrace a wide diversity of breeds and stocking managements (Díaz *et al.*, 2002; Santos-Silva *et al.*, 2002a, Karim *et al.*, 2007).

Table 2: Least squares means for objective and subjective carcass measurements in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
Objective carcass evaluation						
HCW ¹ (kg)	10.5 ^b	11.7 ^a	11.5 ^a	11.7 ^a	0.22	**
CCW ² (kg)	10.2 ^b	11.4 ^a	11.2 ^a	11.4 ^a	0.22	***
Dressing percentage ³ (%)	47.3 ^c	51.4 ^a	49.0 ^{bc}	49.7 ^{ab}	0.63	***
Carcass Shrink ⁴ (%)	2.9	2.3	2.5	2.4	0.25	NS
Fat thickness (mm)	0.71 ^b	1.70 ^a	1.61 ^a	1.74 ^a	0.21	**
Subjective carcass evaluation						
Conformation score ⁵	5.5 ^c (O)	6.4 ^{bc} (O ⁺)	7.6 ^a (R)	7.3 ^{ab} (R-)	0.39	***
Fatness score ⁶	4.0 ^b (2-)	6.0 ^a (2 ⁺)	6.5 ^a (3-)	6.4 ^a (2 ⁺)	0.45	**
Fat consistency ⁷	Hard	Hard	Hard	Hard		NS
Fat colour ⁸	3.4 (W ⁺)	2.9 (W ⁺)	2.3 (W)	2.5 (W)	0.39	NS
M. <i>Rectus abdominis</i> colour ⁹	5.0 (Pink)	5.6 (Pink ⁺)	4.7 (Pink)	6.0 (Pink ⁺)	0.39	NS
Kidney knob channel fat ¹⁰	3.0 ^b (P ⁺)	4.8 ^a (N)	4.7 ^a (N)	4.6 ^a (N)	0.42	**

¹ HCW: Hot carcass weight.

³ CCW*100/LWS

⁵ Scale from 1 (P-: poor) to 15 (E+: Excellent) of the EUROP classification (E excellent, U very good, R good, O fair and P poor).

⁶ Scale 1 (1-: very low) to 12 (4+, very high) of the scale 1 (low), 2 (slight), 3 (average), 4 (high).

⁷ 5 Scale 1 to 9 (1: very hard, 9: very oily) of the scale hardly (H), softly (S), oily (O).

⁸ Scale 1 to 9 (1: very white, 9: intensive yellow) of white (W), cream (Cr), yellow (Y).

⁹ Scale 1 to 9 (1: very clear pink to 9: very dark) of clear (C), pink (P), red (R).

¹⁰ Scale 1 to 9 (1: without fat, 9: completely covered with great thickness of fat) of low (L), normal (N) and high (H). (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).

SE: standard error; NS: no significant; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001.

As the ADG determines the time required to reach the target LWS, the feeding system had effect on that variable (p<0.001). GR lambs had the longest feeding period, which was significantly longer than GR+S and DRL-GRE (p<0.05), in line with the ADG observed. When grazing lambs were supplemented, the feeding period was similar to DRL-GRE (p>0.05).

Feeding system had no effect (p>0.05) on any weight losses evaluated (Table 1) and the percentage of total losses ranged between 3 and 5%. Transport was the most important

stressful factor, accounting for 77% of the total losses, in accordance with earlier works (Fraser and Broom, 1990; Scharma *et al.*, 1994).

The feeding system had a significant effect on the HCW ($p < 0.01$), CCW ($p < 0.001$), dressing percentage ($p < 0.001$) and fat thickness ($p < 0.01$), whereas the carcass shrinks were not affected by treatment ($p > 0.05$). The lower dressing percentage observed in GR ($p < 0.05$) is in agreement with the results observed by Olleta *et al.* (1992a), Santos-Silva *et al.* (2002a), Borton *et al.* (2005a) and Joy *et al.* (2008a). Forage finishing systems increase digestive tract size and decrease external fat cover, resulting in lower dressing percents (Fluharty *et al.*, 1999; Borton *et al.*, 2005a). Moreover, the slightly lower LWS registered in GR lambs might also reduce the dressing percentage as consequence of the positive correlation between weight and dressing percentage (Velasco *et al.*, 2000; Diaz, 2001).

Regarding the subjective carcass classification, the feeding systems had effect on the conformation ($p < 0.001$), fatness degree ($p < 0.01$) and KKCF score ($p < 0.01$), whereas fat consistency, fat colour, and meat colour were unaffected ($p > 0.05$) (Table 2). The conformation of all carcasses was classified within O and R scores. However, the distribution varied according to treatments: GR treatment presented greater proportion of carcasses classified as O (81.8%) whereas the rest of treatments presented greater proportion of R score (58.3, 90.9 and 66.7% for GR+S, DRL-GRE and DRL, respectively). These results agree with several works that observed that lambs raised under a grazing system without any supplementation presented a slightly inferior conformation (Ely *et al.*, 1979; Olleta *et al.*, 1992a; Murphy *et al.*, 1994a; McClure *et al.*, 1995; Priolo *et al.*, 2002).

Grazing lambs presented leaner carcasses as a consequence of the lower fat thickness, fatness degree, and KKCF score ($p < 0.05$; Table 2) than the rest although most of them were classified within the normal fatness degree demanded by the Spanish light lamb market (Peña *et al.*, 2005; Joy *et al.*, 2008a). The fatness degree from carcasses of GR treatment was distributed between 1⁺ (45.5%) and 2 (54.5%) score. The rest of treatments presented a fatness degree between 2 and 3 (64.6 and 33.3% in GR+S; 54.5 and 36.4% in DRL-GRE; and 50 and 50% in DRL treatments, for 2 and 3 score, respectively). In accordance with that, 63.6% of carcasses from GR treatment were classified subjectively for the amount of renal and pelvic fat as Low, whereas the rest of treatments had 91.7, 90.9 and 75% of total carcasses classified as Normal in GR+S, DRL-GRE and DRL, respectively.

Other studies, have demonstrated also that lambs raised under a grazing system without any supplementation presented a slightly inferior fatness degree (Ely *et al.*, 1979; Olleta *et al.*, 1992a; Murphy *et al.*, 1994a; McClure *et al.*, 1995; Priolo *et al.*, 2002) as a consequence of the lower energy availability in relation to those supplemented with concentrate. The amount of carcass fat depots is related positively with the energy intake (Field *et al.*, 1990; Sainz, *et al.* 1990; Chestnutt, 1994). The lower availability of energy in grazing lambs increased the use of reserve lipids in order to depot muscle tissue, with the subsequent reduction of carcass fatness, especially subcutaneous fat (Butterfield *et al.*, 1983). Milk intake can give enough energy until 45 days of age but later, as dam milk production decreases, lambs can not support a similar rate growth than that registered in concentrate-fed lambs (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2007). However, this trait should not be a constraint because these lambs achieve the slaughter live-weight within the target 90-day raising period of the label Protected Origin Designation (P.O.D.) 'Ternasco de Aragón' (BOE, 2006).

Carcasses belonging to indoor treatments (DRL-DRE and DRL) were all classified as white. Despite the lacking effect of treatment on subjective fat colour ($p > 0.05$), carcasses from grazing group treatments were classified as no white (54.5% and 16.7% for GR and GR+S, respectively) and white (45.5% and 83.3% in GR and GR+S, respectively). The fat colour variation in grazing treatments is a consequence of the amount of carotenoid stored in the fat depots, which are content in green forages (Prache and Theriez, 1999; Priolo *et al.*, 2002). The subjective meat colour classification showed that all carcasses presented a clear pink colour (P, P⁺), within the range of the afore-mentioned Ternasco de Aragón P.O.D. production rules.

3.2. Zoometric carcass measurements

The feeding system had a significant effect on several carcass conformation measurements (Table 3).

GR lambs had higher longitudinal measurements (F, Th; $p < 0.05$) and, lower transversal measures (D; $p < 0.05$). Consequently decreased chest rounded index (Wr/Th, $p < 0.05$), hindquarters compactness (G/F, $p = 0.06$), pelvic limb compactness ($p < 0.05$) and carcass compactness ($p < 0.05$). Carcasses with low F and high D are well conformed (Diaz *et al.*, 2002), as in the case of drylot lambs (DRL-GRE and DRL). The high carcass compactness observed in GR+S lambs was in agreement with Osorio *et al.* (1999), who concluded that Polwarth lambs grazing with supplementation presented better objectives

measurements than drylot lambs. Conversely, Santos-Silva *et al.* (2002a) and Diaz *et al.* (2002) did not found any effect of feeding system on this parameter.

Carcass compactness is a good indicator for carcass commercial dressing ($r=0.83$ $p<0.001$). Moreover, it is highly correlated with slaughter weight ($r=0.98$, $p<0.001$), hot carcass weight ($r=0.91$, $p<0.001$) and pelvic limb compactness ($r=0.91$, $p<0.001$), which was also observed in Manchego breed light lambs (Cañeque *et al.*, 2004).

Table 3: Least square means for zoometric conformation measurements and ratios between these measures in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
F ¹ (cm)	26.3 ^a	25.0 ^b	25.2 ^b	25.7 ^{ab}	0.28	*
G ² (cm)	18.2	18.1	18.1	18.3	0.16	NS
L ³ (cm)	52.4	51.1	52.3	52.0	0.32	NS
D ⁴ (cm)	51.8 ^b	53.1 ^a	52.5 ^{ab}	53.0 ^a	0.35	*
Th ⁵ (cm)	23.0 ^a	22.3 ^b	21.9 ^b	22.4 ^b	0.18	**
Wr ⁶ (cm)	17.1	17.4	18.0	18.0	0.27	NS
Wr/Th ⁷	0.74 ^c	0.78 ^{bc}	0.83 ^a	0.80 ^{ab}	0.01	**
Pelvic limb weight/F ⁸ (g/cm)	64.8 ^b	72.6 ^a	70.6 ^a	71.4 ^a	1.65	**
G/F ⁹	0.69	0.73	0.72	0.71	0.01	NS
CCW/L ¹⁰ (g/cm)	194.5 ^b	221.3 ^a	213.5 ^a	219.1 ^a	4.40	***
G/L ¹¹	0.35	0.35	0.35	0.35	0.01	NS

SE: standard error; NS: no significant; * $p\leq0.05$; ** $p\leq0.01$; *** $p\leq0.001$.

¹F: Pelvic limb length; ²G: Hindquarter wide; ³L: Half carcass internal length; ⁴D: Hindquarter perimeter; ⁵Th: Chest depth; ⁶Wr: Maximum width carcass; ⁷Wr/Th: Chest roundness index; ⁸Pelvic limb weight/F: Pelvic limb compactness; ⁹G/F: Hindquarter wide/pelvic limb length; ¹⁰CCW/L: Carcass compactness; ¹¹G/L: hindquarter wide/carcass internal length index.

3.3. Fat depots

The fat partitioning showed that carcass depots were greater than internal fat depots (Table 4). Feeding system had effect on the total body fat depots ($p<0.01$), which were lower in GR lambs than in the rest of treatments ($p<0.05$). When energy intake is limited, as it might be the case of GR treatment, the fat depots are less developed (Field *et al.*, 1990; Sainz *et al.*, 1990; Chestnutt, 1994). But, when grazing lambs were supplemented with concentrate (GR+S), the total body fat increased 21.8%, similar to that observed in

drylot lots. Murphy *et al.* (1994a) observed an increase of 32% of carcass fat when lambs were concentrate-fed compared with lambs grazing on alfalfa crops.

Table 4: Quantity and proportion of internal, carcass and total fat depots in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
Total body fat (g)	1418.1 ^b	1726.5 ^a	1726.4 ^a	1848.7 ^a	77.00	**
Internal fat depots. Percentage over total body fat weight.						
Total internal fat	47.5 ^a	43.7 ^b	46.4 ^{ab}	43.4 ^b	1.02	**
KKCF ¹	14.1	15.3	16.8	14.6	0.84	NS
Pelvic	4.8	4.5	4.9	4.4	0.25	NS
Renal	9.3	10.8	11.9	10.2	0.79	NS
Abdominal fat	33.4 ^a	28.4 ^b	29.6 ^b	28.9 ^b	0.81	***
Mesenteric	15.7 ^a	14.0 ^{ab}	11.9 ^c	12.3 ^{bc}	0.68	***
Omental	17.7 ^a	14.4 ^b	17.8 ^a	16.6 ^{ab}	0.92	*
Carcass fat depots. Percentage over total body fat weight.						
Total carcass fat	52.5 ^b	56.3 ^a	53.6 ^{ab}	56.6 ^a	1.02	**
Intermuscular	36.0 ^a	35.9 ^a	33.3 ^b	35.6 ^a	0.79	*
Subcutaneous	16.5 ^b	20.4 ^a	20.3 ^a	21.0 ^a	0.67	***

SE: standard error; NS: no significant; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

¹KKCF: Kidney Knob channel fat.

GR treatment showed lower total carcass fat ($p < 0.05$), mainly as a result of the lower proportion of subcutaneous fat (16.5 vs. 20.6% in GR and the average of supplemented lambs) and greater proportion in internal fat depot due to the heavier abdominal fat (33.4 vs. 28.9%). The lower proportions of subcutaneous fat in GR treatment ($p < 0.05$) is related to the pattern of development of carcass fat depots, which follows the next order: mesenteric, intermuscular, omental, pelvic and renal and subcutaneous (Teixeira *et al.*, 1989) as it is shown in Figure 3. The proportion of each fat depot increased its relative importance in order of development from grazing treatments (GR and GR+S) to drylot treatments (DRL and DRL-GRE). 1st and 2nd fat depot (mesenteric and intermuscular, respectively) had significant differences between carcass from grazing and drylot lambs.

Differences between groups were slightly in 3rd depot and differences disappear in 4th depot. Last developed depot (subcutaneous fat) had again differences between treatments. Kempster and Harrington (1980) and Wood *et al.* (1980) observed that intermuscular fat depot had an earlier development than the rest of depots, being the subcutaneous the one with the latest development. The higher abdominal fat depot can be associated with the heavier small intestine but similar reticulo-rumen weight observed in grazing lambs (Fluharty *et al.* 1999; Joy *et al.*, 2008b) and, thus, the fat depot bound to digestive tract was also increased.

Figure 3. Pattern of fat depot development. Treatments within the same rectangle had no significant differences ($p > 0.05$). Discontinuous rectangle represents feeding systems with higher percentages of fat depot.

Fat depot	Order of development	GR	GR+S	DRL	DRL-GRE
Mesenteric	1	+		-	
Intermuscular	2	+		-	
Omental	3	+		-	
KKCF	4	-			
Subcutaneous	5	-	+		

Subjective carcass fatness degree was highly correlated with KKFC ($r=0.57$, $p<0.001$), subcutaneous ($r=0.65$, $p<0.001$), intermuscular ($r=0.62$, $p<0.001$) and total fat depots ($r=0.80$, $p<0.001$) similarly to the results reported by Díaz (2001) in suckling Manchego lambs. These relationships confirm the utility of subjective assessment of fatness degree in carcasses through a uniform EU scale in order to predict the rest of fat deposits in the lamb.

3.4. Regional composition, joint proportions and categories

The proportions of joints obtained from the left half carcasses are presented in Table 5. Pelvic limb, thoracic limb and loin-rib had higher percentages in all treatments whereas neck and anterior-rib had the lower, in agreement with Peña *et al.* (2005) in Segureña light lambs.

The feeding system only affected anterior-rib and breast ($p < 0.05$). The grazing lambs (GR, GR+S) showed higher anterior-rib and lower breast proportions in relation to drylot lambs (DRL-GRE and DRL) ($p < 0.05$). Anterior-rib proportion was negatively correlated with live weight at slaughter ($r = -0.38$, $p < 0.05$). In contrast, the breast is a joint with an important fat deposition reflected by a greater proportion when the LWS increased, as it was the case of indoors treatments (DRL-GRE and DRL). In that sense, Murphy *et al.* (1994a) observed leaner breast in alfalfa grazing lambs than in ryegrass+concentrate- and concentrate-fed lambs. The different pattern of joints development is responsible of this result (Kempster *et al.*, 1987; Santos *et al.*, 2000a) and the proportion of early development joints is the most reduced by increasing carcass weight (Boccard *et al.*, 1962).

Table 5: Least square means for proportion of joints obtained from half left carcasses in Churra Tensina lambs reared under grazing (GR), grazing plus supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-dams (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
Half carcass weight(g)	5100 ^a	5554 ^b	5415 ^b	5523 ^b	104.0	**
Thoracic limb (%)	20.0	20.2	20.1	20.4	0.23	NS
Loin-rib (%)	20.3	21.3	21.0	20.4	0.40	NS
Pelvic limb (%)	33.3	32.9	32.8	33.2	0.32	NS
Anterior-rib (%)	7.1 ^a	7.0 ^a	6.7 ^{ab}	6.4 ^b	0.17	*
Neck (%)	8.7	7.9	7.9	8.2	0.28	NS
Breast (%)	10.6 ^b	10.7 ^b	11.5 ^a	11.4 ^a	0.29	*
M. <i>Longissimus dorsi</i> (%)	4.7	4.8	4.7	4.5	0.11	NS
<i>Commercial meat category</i>						
1 st quality (%)	60.7	61.2	60.6	60.0	0.33	NS
2 nd quality (%)	20.0	20.2	20.1	20.4	0.23	NS
3 rd quality (%)	19.3	18.6	19.3	19.6	0.28	NS

1st category (loin-rib, pelvic limb, anterior-rib), 2nd category (thoracic limb) and 3rd category (breast and neck). SE: standard error; NS: no significant; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$. Different superscripts mean significant differences ($p < 0.05$).

When the joints were classified according to the commercial meat category, no effect of treatment was observed ($p > 0.05$), the first category accounting for more than 60% of commercial meat in all cases. Similar proportions were observed in several studies on light lambs (Rizzi *et al.*, 2002; Santos-Silva *et al.*, 2003; Cañeque *et al.*, 2004; Diaz *et al.*,

2006), showing that feeding system do not influence the proportion of meat commercial category. The proportion of first category joints decreased with slaughter weight. As it has been pointed out above, this was a reflect of differences in the growth pattern of different regions of the carcass (Kempster *et al.*, 1987; Santos *et al.*, 2000), being the proportion of early development joints (pelvic limb, thoracic limb and ribs) the most reduced by increasing carcass weight (Boccard *et al.*, 1962). On the whole, results suggest that joint proportions are more affected by slight variations in the slaughter weight (within the range 22-24 kg) than for the feeding strategy applied to lambs.

4. Conclusions

It was concluded that light lamb carcass characteristics were slightly affected by the feeding system. Grazing lambs presented lower dressing percentage, fatness degree and total body fat depots, being the subcutaneous fat the most reduced fat depot. The supplementation with concentrate in grazing lambs improved the animal performance and carcass yield. Feeding system was not associated with any important changes in subjective meat and fat colour, fat consistence or joint proportions. Some grazing lambs presented a fat colour with a tendency to yellowness, although the differences among treatments were not significant.

5. Implications

The grazing system with supplement had the advantage to allow producing light lambs saving a high amount of concentrates but achieving similar or even greater ADG to that registered in drylot lambs (DRL-GRE and DRL). From a commercial point of view, carcasses from grazing lambs presented similar proportion of first category meat, and might be classified within the normal ranges for Ternasco category, comparable to animals from drylot systems. Additionally, the lower fat content of grazing carcasses could be considered as an attractive trait for the Spanish light lamb market.

Ensayo 2. Composición tisular de la canal en corderos ligeros: influencia del sistema de alimentación y ecuaciones de predicción.

Este trabajo ha dado lugar a la publicación "Carcass tissue composition in light lambs: Influence of feeding system and prediction equations". S. Carrasco, G. Ripoll, B. Panea, J. Álvarez-Rodríguez, Joy, M. Enviado a la revista *Livestock Science (LIVSCI-D-08-1507)* con fecha 11 de Setiembre de 2008.

Abstract

Forty-eight Churra Tensina single male lambs were used to evaluate the effect of different feeding systems on carcass composition and predict the carcass tissue composition from joint composition and carcass measurements. Four treatments were studied: GR, unweaned lambs continuously grazing with ewes; GR+S, the same as the previous group, but lambs had free access to concentrate; DRL-GRE, lambs remained indoors with free access to concentrate and ewes grazed for 8 h/day, thereafter remaining with lambs; DRL, lambs and ewes were kept in confinement, they had free access to concentrate and dry unifeed respectively. In the DRL-GRE and DRL groups lambs were weaned when 45 days old. Lambs were slaughtered at 22-24 kg live weight. Commercial joints from the half left carcass were obtained, recorded and dissected to determine carcass tissue composition.

The feeding system had an effect on the proportion of the carcass tissue composition. GR treatment showed higher meat (M) ($p<0.05$) and bone (B) ($p<0.001$) percentages, and a lower total fat percentage ($p<0.001$) than the rest of treatments. Hence it revealed higher M/F ($p<0.01$) and lower M/B ($p<0.05$) and subcutaneous fat / intramuscular fat ratios (SF/IF; $p<0.001$). Carcass composition predictions were more accurate for grams than for percentages. In predictions from joint composition, pelvic limb was the most accurate joint for grams ($R^2=0.84$, $R^2=0.68$, and: $R^2=0.77$ for meat, bone, and fat, respectively) as well as for percentage ($R^2=0.65$, $R^2=0.56$, and $R^2=0.73$; for meat, bone, and fat, respectively). Predictions from carcass measurements were greater in meat and fat grams ($R^2=0.87$, and: $R^2=0.86$ for meat, and fat, respectively) than in percentage ($R^2=0.58$, and: $R^2=0.73$ for meat, and fat, respectively). Equations to predict carcass tissue that include carcass measurements are a simple method to assess accurately saleable meat yield from different lamb feeding systems without involving carcass damage.

Keywords: grazing, indoors, carcass measurements, meat, fat, bone.

1. Introduction

Light lamb production (18-24 kg live weight, younger than 90 days) represents the largest share of the lamb market in many Mediterranean countries. Consumers show a greater preference for this type of meat, characterised by its pale pink colour and white fat (Sañudo *et al.*, 1998a). Usual feeding systems are based on ewes' milk plus a concentrate until weaning (around 45 days old) and thereafter concentrate only.

Nowadays, the increasing demand for safe meat products, the on-farm cost of purchased concentrate feeds and the EU Common Agricultural Policy are stimulating market interest in pasture-based production systems. Within this framework, lamb carcass quality (joint weights, fatness degree, marbling, meat and fat colour) and composition attributes (saleable meat yield or percentage of fat, meat and bone) vary according to the farming system used for lamb rearing.

The value of lamb carcasses is largely determined by the meat yield, pattern of meat distribution and meat quality. The effect of the feeding system on the above-mentioned characteristics is not clear. Reduced carcass fat (mostly subcutaneous fat rather than intermuscular fat) was observed in lambs that had grazed on pastures compared to lambs fed on concentrate (Diaz *et al.*, 2002; Joy *et al.*, 2008b). However when the diet of grazing lambs is supplemented with concentrate their fatness degree is similar to that observed in indoor lambs (Carrasco *et al.*, 2008a). Collectively, earlier works proved that the source of available energy influences carcass composition, but that it can be altered through mixed feeding systems based on ewe's milk, pasture and concentrate.

The prediction of carcass composition from the dissection of all joints is the most accurate system (Kempster *et al.*, 1976). However, dissection is very expensive method and other non-invasive methods have been studied in order to predict carcass composition without damage to the carcass (Allen *et al.*, 1990; Delfa *et al.*, 1996, Díaz *et al.*, 2004; Miguelez *et al.*, 2006). To improve the accuracy of predicting composition using intact carcasses and simple methods, many investigations have used several carcass measurements (Kempster *et al.*, 1976; Delfa *et al.*, 1996; Hopkins and Fogarty, 1998; Díaz *et al.*, 2004; Miguel *et al.*, 2007). The results of these studies indicate that carcass weight is usually the most precise measurement for predicting carcass tissue composition. However, the prediction equation obtained in an experimental study may not be appropriate for predicting the carcass composition of another lamb population. Kempster *et al.* (1981) found significant discrepancies between real and predicted values when they applied equations obtained from other studies. Several animal factors such as breed, sex and age can affect tissue composition (Hopkins and Fogarty, 1998; Safari *et al.*, 2001).

Previous studies carried out in mountain conditions have demonstrated that spring lambing Churra Tensina ewes are able to raise lambs on permanent mountain pastures without any penalisation of either their performance or carcass quality (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2007; Joy *et al.*, 2008a,b). Although lamb performance, carcass conformation score

and fatness degree (according to the subjective classification scale of the EU) was lower in grazing and unweaned lambs than in indoor weaned light lambs, barely detectable differences in meat and fat colour were found when assessed subjectively and using the CIEL*a*b* space (Joy *et al.*, 2008a; Ripoll *et al.*, 2008a).

The aims of this study were to evaluate the effect of feeding systems on partitioning of meat, bone and fat in Churra Tensina light lambs carcasses, and predict the carcass tissue composition from joint composition and carcass measurements.

2. Material and methods

2.1. Animal management

Forty-eight Churra Tensina single male lambs (3.6 ± 0.08 kg live-weight at birth) were selected from the experimental flock of “La Garcipollera” Research Station (945 m a.s.l., north-eastern Spain). Animal management has been widely described by Carrasco *et al.* (2008a). The treatments were:

1. *Grazing (GR)*: Lambs and their dams were continuously stocked on a permanent pasture. No concentrate was available to dams or lambs. Lambs suckled their mothers and grazed until slaughter.
2. *Grazing with supplement for lambs (GR+S)*: The same management as for GR, with the addition that the lambs received concentrates *ad libitum* in lamb creep feeders.
3. *Drylot lambs with grazing ewes (DRL-GRE)*: The lambs remained in the drylot and their dams grazed at pasture for eight hours a day (08:00 to 16:00 h) and thereafter remained indoors (10 m x 10 m) with them, receiving a supplement of 0.5 kg of fresh barley meal/day (119 g CP /kg DM, 248 g NDF /kg DM). This system aimed to reproduce the commonly used system in the region.
4. *Drylot (DRL)*: The lambs and ewes were kept always in confinement. Ewes had free access to dry unifeed (110 g CP /kg DM, 681 g NDF /kg DM) and lambs were fed concentrate *ad libitum*.

For further details of concentrate and pasture characteristics see Carrasco *et al.* (2008a).

2.2. Slaughter procedure

The general slaughter procedure and the results of objective and subjective carcass measurements (Table 1) have been reported elsewhere (Carrasco *et al.*, 2008a). After

slaughter, carcasses were chilled at 4°C for 24 h. Subjective carcass measures were conformation (scale EUROP system, E excellent, U very good, R good, O fair and P poor), fatness degree (scale 1, very slim, to 4, very fat), and amount of pelvic and renal fat (kidney knob channel fat score, KKCFs, scale from low fat, normal fat and high fat). The tail was then removed, the carcass was carefully split longitudinally and the two halves were weighed. Kidney and pelvic fat from the left carcass side was removed and weighed to obtain the contents of kidney knob and channel fat (KKCF); the left side was divided into thoracic limb, breast, pelvic limb, neck, anterior-rib, and loin-rib (Figure 1), according to Colomer-Rocher *et al.* (1988). Each joint was weighed, packed in polyethylene bags and frozen at -20°C for subsequent dissection. Joints were thawed overnight at 4°C and dissected into meat, bone and fat comprising subcutaneous fat (SF), intermuscular fat (IF), kidney fat (KF) and pelvic fat (PF), and waste (major blood vessels, ligaments, tendons, and thick connective tissue sheets associated with some muscle tissue) according to Colomer-Rocher *et al.* (1988). The meat/bone (M/B), meat/fat (M/F) and subcutaneous fat/intermuscular fat (SF/IF) ratios were determinate. The corrected weight after the dissection of left half-carcass, obtained by adding up the weights of meat, bone, fat and waste of the carcass, excluding testicle, thymus and kidney weights, was used for the calculations related to carcass composition. The percentage of each tissue from each joint was calculated from the corrected weight.

2.3. Statistical analysis

A statistical analysis was performed with the SAS statistical software (9.1 version, SAS Institute, Cary, NC, USA). The effect of the feeding system as a fixed effect on all variables was analysed according to the following model (PROC GLM):

$$Y_{ij} = \mu + D_i + \xi_{ij}$$

where Y_{ij} = dependent variable; μ = overall mean; D_i = effect of i feeding system (GR, GR+S, DRL-GRE or DRL); ξ_{ij} = residual error.

Differences among feeding systems were determined using the Duncan test. A level of significance below 0.05 was considered significant.

The prediction equations of carcass tissue composition from joints and carcass measurements were studied by multiple regression analysis with the stepwise option. Terms were retained in the models when $p < 0.05$. Pearson correlations between variables were performed by CORR procedure.

3. Results and discussion

The feeding system affected slaughter weight (SW; $p < 0.01$), hot carcass weight (HCW; $p < 0.01$), cold carcass weight (CCW; $p < 0.001$), conformation scores (Cs; $p < 0.001$), fatness degree (Fd; $p < 0.01$) and KKCF score (KKCFs $p < 0.01$) (Table 1). As expected, GR lambs were lighter, poorer conformed and leaner than the rest of treatments ($p < 0.05$) (Chestnutt, 1994; Murphy *et al.*, 1994a; Priolo *et al.*, 2002), as a result of the lower energy intake (Thériez *et al.*, 1992; McClure *et al.*, 1995; Karim *et al.*, 2007), the greater physical activity in relation to indoors lambs (Priolo *et al.*, 2002) and/or the changes in the metabolism of grazing lambs vs. concentrate fed lambs (Butterfield *et al.*, 1988; Díaz *et al.*, 2002).

3.1. Carcass tissue composition

The carcass tissue composition and its ratios are shown in Table 2. The feeding system affected the percentage of meat ($p < 0.05$), bone ($p < 0.001$) and total fat ($p < 0.001$). The greater energy intake registered in lambs supplemented with concentrate (GR+S, DRL-GRE, DRL) is partitioned according to the tissue maturation (bone, meat and fat) (Rouse *et al.*, 1970; Kempster *et al.*, 1987). Some of the effects of the feeding system on carcass composition were probably due to the effects of growth rate on the partitioning of energy for tissue gain (Borton *et al.*, 2005a, b). The excess of energy intake, over the requirements for maximal bone and meat accretion is used for fat accretion in a linear manner (Murphy *et al.*, 1994a). Byers *et al.* (1988) suggested that as average daily gain (ADG) increases, fat deposition increments at increasing rate while protein deposition increments at decreasing rates. Consequently, low energy intake implies a more notable reduction of fat accretion than protein (McClure *et al.*, 1995; Díaz *et al.*, 2002). Furthermore, the greater physical activity in grazing lambs is concomitant with less fat and greater meat volume (Aalhus *et al.*, 1991) especially in both limbs (Butterfield *et al.*, 1983).

GR lambs showed a greater percentages of meat ($p < 0.05$) and bone ($p < 0.05$), and a lower percentage of fat ($p < 0.05$) than the rest of treatments. The greater percentage of meat observed in GR lambs only was significantly different to DRL ($p < 0.05$), and the rest of the treatments revealed intermediate values. Murphy *et al.* (1994a) and Santos-Silva *et al.* (2002a) also observed the same trend. GR lambs had less-developed fat depots probably due to the limited energy intake, as observed by Field *et al.* (1990) and Chestnutt (1994), which has a more important effect on subcutaneous fat (Butterfield *et al.*, 1988; Díaz *et al.*, 2002; Joy *et al.*, 2008b). Daily energy intake for GR lambs (milk and pasture)

may provide enough energy for bone and meat tissue development but not for use towards fat accretion.

Table 1. Carcass characteristics in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
Number of animals	12	12	11	12		
SW ¹ (kg)	21.6b	22.3a	22.8a	22.9a	0.25	**
HCW ² (kg)	10.5b	11.7a	11.5a	11.7a	0.22	**
CCW ³ (kg)	10.2b	11.4a	11.2a	11.4a	0.22	***
Cs ⁴	5.5c	6.4bc	7.6a	7.3ab	0.39	***
Fd ⁵	4.0b	6.0a	6.5a	6.4a	0.45	**
KKCFs ⁶	3.0b	4.8a	4.7a	4.6a	0.42	**

SE: standard error; NS: not significant; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

¹SW: slaughter weight; ²HCW: hot carcass weight; ³CCW: cold carcass weight; ⁴Cs, conformation score: Scale from 1 (P-: poor) to 15 (E+: Excellent) of the EUROP classification (E excellent, U very good, R good, O fair and P poor). ⁵Fd, fatness degree: Scale 1 (1-: very low) to 12 (4+, very high) of the scale 1 (low), 2 (slight), 3 (average), 4 (high). (Colomer-Rocher *et al.*, 1988). ⁶KKCFs, kidney knob channel fat score: Scale 1 to 9 (1: without fat, 9: completely covered with great thickness of fat) (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).

The feeding system had a clear effect on the total fat percentage, although the magnitude of the effect varies according to fat depots. The treatment had a lesser effect on internal fat depot (kidney and pelvic fat; $p > 0.05$), than it did on intermuscular ($p < 0.01$) and on subcutaneous fat ($p < 0.001$), which may be due to different maturation rates (Cuthbertson, 1978). Vézinhét and Prud'hon (1975), Ruiz de Huidobro and Cañeque (1994) and Santos *et al.* (2000a) observed that KKCF developed earlier than the rest of fat depots. GR carcasses presented lower subcutaneous fat ($p < 0.05$) and intermuscular fat depots (although they were only significantly lower than GR+S and DRL; $p < 0.05$), in keeping with the findings of Díaz *et al.* (2002) and McClure *et al.* (2000). Moreover, a negative correlation between bone and fat percentage was observed ($r = -0.73$, $p < 0.001$) in agreement with Rouse *et al.*, (1970), Lambuth *et al.* (1970), and Hammond *et al.* (1983).

The feeding system had a significant effect on M/F ($p < 0.01$), M/B ($p < 0.05$) and SF/IF ($p < 0.001$) ratios (Table 2). GR treatment had a higher M/F ratio ($p < 0.05$), and in the rest of treatments ratios were similar one to another. DRL-GRE revealed the highest M/B ratio, which was significantly different to that observed in GR ($p < 0.05$), and similar to GR+S and DRL ($p > 0.05$). Lambs fed with low energy diets had less fat accretion and greater bone

weight (Lambuth *et al.*, 1970). Slaughter and carcass weights and conformation score were positively correlated with the M/B ratio ($r=0.33$, $p<0.05$; $r=0.81$, $p<0.001$; $r = 0.35$, $p<0.01$, respectively). In relation to this, Hopkins *et al.* (1998) concluded that a good conformation is associated with a high M/B ratio. When subcutaneous fat was related to intermuscular fat (SF/IF), GR presented a lower ratio ($p<0.05$) than the rest of treatments, which showed similar values. This ratio tended to increase with the slaughter weight because of the concomitant increment SF (Joy *et al.*, 2008b) due to its later development (Alvarez-Rodriguez *et al.*, 2008).

Table 2. Percentage and ratios of the main tissues obtained by dissection of half left carcass joints in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
Meat %	59.5 ^a	57.8 ^{ab}	58.5 ^{ab}	57.0 ^b	0.56	*
Bone %	21.8 ^a	20.6 ^b	20.0 ^b	20.0 ^b	0.31	***
Total fat %	17.9 ^b	20.8 ^a	20.6 ^a	22.2 ^a	0.71	***
SF ¹ %	4.9 ^b	6.6 ^a	6.8 ^a	7.3 ^a	0.34	***
IF ² %	10.7 ^c	11.6 ^{ab}	11.0 ^{bc}	12.3 ^a	0.58	**
PF ³ %	0.8	0.7	0.9	0.8	0.06	NS
KF ⁴ %	1.5	1.8	2.0	1.8	0.16	NS
Other tissues %	0.85	0.80	0.87	0.79	0.07	NS
M/F ⁵	3.38 ^a	2.83 ^b	2.88 ^b	2.61 ^b	0.13	**
M/B ⁶	2.73 ^b	2.81 ^{ab}	2.94 ^a	2.86 ^{ab}	0.05	*
SF/IF ⁷	0.46 ^b	0.57 ^a	0.62 ^a	0.59 ^a	0.02	***

SE: standard error; NS: not significant; * $p\leq0.05$; ** $p\leq0.01$; *** $p\leq0.001$.

¹SF: Subcutaneous fat; ²IF: Intermuscular fat; ³PF: Pelvic fat; ⁴KF: kidney fat; ⁵M/F: Meat/Fat; ⁶M/B: Meat/Bone; ⁷SF/IF: Subcutaneous/Intermuscular fat

3.2. Joint tissue composition

With regard to joint carcass composition, the feeding system only affected anterior-rib and breast proportions (Table 3; $p<0.05$). Grazing lambs (GR, GR+S) showed higher anterior-rib and lower breast percentages in relation to drylot lambs (DRL-GRE, DRL; $p<0.05$). Both joint percentages are related to slaughter weight, although differently. Anterior-rib percentage was negatively correlated ($r = -0.38$, $p<0.05$), whereas breast was positively related ($r = 0.32$, $p<0.05$). The proportion of early joint development is that which is most

reduced by increasing carcass weight (Boccard *et al.*, 1960), reflecting the different pattern of joint development (Kempster *et al.*, 1987; Santos *et al.*, 2000a). The present results suggest that joint percentages are affected by slight variations in the slaughter weight (22-24 kg) due to the feeding strategy applied to light lambs.

The most important effect of the feeding system on joint tissue composition was registered on fat deposition. Total fat, SF and IF of the first category joints (pelvic limb, loin-rib and anterior-rib) were affected by treatment ($p < 0.05$). The rest of the joints did not reveal any differences among feeding systems, except for total fat and IF of breast ($p < 0.05$). GR always presented the smallest fat percentages, in accordance with Díaz *et al.* (2002), Santos Silva *et al.* (2002a) and Olleta *et al.* (1992c). When grazing lambs were supplemented with concentrate (GR+S), the fat percentages were similar to those registered in indoor treatments (DRL-GRE and DRL), as a result of the considerable effect of level of nutrition on fat accretion rate (Russel *et al.*, 1969). Besides, the effect of energy supplementation is greater in late-developing tissues, such as SF, than in earlier-developing tissues (Cañeque *et al.*, 1999; Díaz, 2001).

Figure 2 shows the variation of tissue ratios of carcass joints. Feeding systems affected M/B ratios only in loin-rib ($p < 0.01$); M/F in pelvic limb ($p < 0.05$), loin-rib ($p < 0.01$), and breast ($p < 0.05$); and SF/IF in pelvic limb and loin-rib ($p < 0.05$). GR presented the loin-rib with the lowest value of M/B (GR: 3.05 vs GR+S: 3.35; DRL-GRE: 3.95; DRL: 3.53; $p < 0.05$) mainly due to its greater bone percentage. In a similar study, but comparing only two feeding systems, similar to the current GR vs DRL-GRE lambs, Joy *et al.* (2008b) concluded that lambs reared indoors showed greater M/B ratio in all joints except pelvic limb and neck, which agree with the present results when both treatments are compared. M/F ratio was only affected by treatment in pelvic limb, loin-rib and breast ($p < 0.05$). In pelvic limb and breast, GR lambs presented a higher M/F ratio than the rest of treatments (GR 4.54, 1.73 vs GR+S 4.05, 1.44; DRL-GRE 3.88, 1.57; DRL 3.73, 1.33, for pelvic limb and breast, respectively; $p < 0.05$) mainly as a result of the lower subcutaneous fat content (Murphy *et al.*, 1994a; Karim *et al.*, 2007). However, in loin-rib this group had the lowest M/F ratio due to a lower fat percentage and higher meat percentage compared to the rest of groups (Table 3). As previously mentioned, treatment affected fat deposition in the first category joints (pelvic limb and loin-rib). Consequently, the feeding system affected the SF/IF ratio ($p < 0.05$), the GR treatment having always the lowest ratio (Figure 2), as was expected (Carrasco *et al.*, 2008a), due to of the early development of intermuscular fat and the late of subcutaneous fat (Butterfield 1983; Ruiz de Huidobro, 1993).

Table 3. Percentages of half carcass joints and joint tissue composition in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
<i>Pelvic limb</i>	33.3	32.9	32.8	33.2	0.3	NS
Meat %	63.0	61.9	61.4	61.3	0.6	NS
Bone %	22.6	21.8	22.0	21.4	0.5	NS
Total fat %	14.0 ^b	15.9 ^a	16.1 ^a	16.9 ^a	0.6	**
SF ¹ %	5.1 ^b	6.6 ^a	6.5 ^a	7.4 ^a	0.4	***
IF ² %	6.7	7.0	7.1	7.2	0.3	NS
PF ³ %	2.2	2.3	2.5	2.4	0.2	NS
<i>Loin-Rib</i>	20.3	21.3	21.0	20.4	0.4	NS
Meat %	54.9	50.9	52.5	49.6	1.5	NS
Bone %	18.7 ^a	15.3 ^b	13.7 ^b	14.1 ^b	0.8	***
Total fat %	25.7 ^b	33.1 ^a	33.2 ^a	35.8 ^a	1.8	**
SF %	7.6 ^b	12.0 ^a	13.0 ^a	13.2 ^a	0.8	***
IF %	10.6 ^b	12.2 ^{ab}	10.2 ^b	13.5 ^a	0.9	*
KF ⁴ %	7.6	8.9	10.0	9.1	0.6	NS
<i>Anterior-rib</i>	7.1 ^a	7.0 ^a	6.7 ^{ab}	6.4 ^b	0.2	*
Meat %	58.6	59.8	61.3	56.6	1.6	NS
Bone %	24.1 ^a	20.4 ^b	22.0 ^{ab}	21.5 ^{ab}	0.9	*
Total fat %	15.7 ^b	18.3 ^{ab}	15.4 ^b	20.5 ^a	1.4	*
IF %	15.7 ^b	18.3 ^{ab}	15.4 ^b	20.5 ^a	1.4	*
<i>Thoracic limb</i>	20.0	20.2	20.1	20.4	0.2	NS
Meat %	64.5	63.3	60.2	63.0	2.4	NS
Bone %	22.4	22.6	21.1	22.3	0.6	NS
Total fat %	12.3	13.2	17.7	13.9	2.4	NS
SF %	3.4	3.9	3.7	4.7	0.4	NS
IF %	8.9	9.3	14.1	9.3	2.3	NS
<i>Breast</i>	10.6 ^b	10.7 ^b	11.5 ^a	11.4 ^a	0.3	*
Meat %	49.6 ^a	47.3 ^{ab}	48.9 ^a	45.8 ^b	1.0	*
Bone %	19.5	18.5	18.3	18.0	0.5	NS
Total fat %	29.4 ^b	33.4 ^a	31.7 ^{ab}	35.2 ^a	1.2	*
SF %	6.1	7.0	7.1	7.5	0.5	NS
IF %	23.4 ^b	26.4 ^{ab}	24.7 ^{ab}	27.7 ^a	1.0	*
<i>Neck</i>	8.7	7.9	7.9	8.2	0.3	NS
Meat %	57.6	56.6	58.1	58.9	1.2	NS
Bone %	25.0	25.5	25.6	24.7	0.6	NS
Total fat %	15.5	15.4	14.5	15.0	1.1	NS
SF %	4.5	4.9	4.7	4.6	0.5	NS
IF %	11.0	10.5	9.8	10.4	0.9	NS

SE: standard error; NS: not significant; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

¹SF: Subcutaneous fat; ²IF: Intermuscular fat; ³PF: Pelvic fat; ⁴KF: kidney fat

3.3. Correlation coefficients between carcass measurements and carcass tissues

The correlation coefficients between carcass tissues (weight and percentage) vs carcass measurements are shown in Table 4. Carcass weights (HCW and CCW) were always positive and significantly related to all tissues weights studied ($p < 0.001$). However, with regards to tissue percentages, carcass weights were negatively correlated with meat and bone and positively correlated with fat, reflecting the tissue growth pattern (Kempster *et al.*, 1987). Fat depot amounts (KF, PF, and KKCF) were well correlated with carcass fat weight and not correlated with carcass bone weight, as expected (Ruiz de Huidobro and Cañeque, 1994). Tissue composition as a percentage was correlated with all three fat variables although in an opposite way: negatively with meat and bone percentage and positively with fat percentage.

The subjective measurements, Cs, Fd and KKCFs, presented significant correlations with meat and fat weights and with percentage of all tissues. These correlations were positive with meat and fat weights, and fat percentage, and negative with meat and bone percentages. Subjective fat measurements (Fd and KKCFs) showed the highest correlation with fat tissue, in keeping with Bruwer *et al.* (1987), Garrett *et al.* (1992) and Díaz *et al.* (2004). Cs displayed better correlation with fat than meat weight as was found by Cuthbertson and Kempster (1978) and Kempster *et al.* (1981), which could be supported by the fact that Cs is evaluated considering a concave or convex carcass profile, which in turn is influenced by fat depot (Tatum *et al.*, 1988).

In relation to objective carcass measures, the most significant correlations with carcass tissue weights were the ratios related to carcass compactness (CCW/L and pelvic limb weight/F) (Table 4). Both variables were highly correlated with meat and fat weights, with values of Pearson's correlations among 0.67 to 0.81. Similar correlations were observed by Cañeque *et al.* (2004) in a study on Manchego light lambs.

3.4. Prediction of carcass tissue composition

3.4.1. Using joint tissue composition

Prediction equations of weight and percentage of carcass meat, bone and fat, from tissue joint composition, coefficients of determination (R^2) and residual standard deviations (r.s.d.) are shown in Table 4. Pelvic limb and loin-rib were good predictors for meat, bone and fat carcass in weights and percentages. Anterior-rib and neck were the poorest predictors.

Table 4. Pearson's correlations (r) between carcass tissues, in grams (g) or percentage (%), and objective and subjective carcass measurements.

(1)	Meat(g)	Bone (g)	Fat (g)	Meat(%)	Bone(%)	Fat(%)
<i>Carcass measurements</i>						
HCW (k)	0.85***	0.51***	0.78***	-0.43**	-0.55***	0.56***
CCW(k)	0.84***	0.52***	0.78***	-0.44**	-0.54***	0.57***
KF (g)	0.51***	0.18	0.75***	-0.51***	-0.62***	0.66***
PF (g)	0.03	-0.12	0.48***	-0.46**	-0.44**	0.54***
KKCF (g)	0.44**	0.11	0.76***	-0.56***	-0.65***	0.71***
<i>Subjective carcass measurements</i>						
Cs	0.33*	-0.07	0.56***	-0.34*	-0.61***	0.52***
Fd	0.45**	0.2	0.80***	-0.62***	-0.59***	0.72***
KKCFs	0.44**	0.19	0.74**	-0.56***	-0.57***	0.67***
<i>Objective carcass measurements and indexes</i>						
Wr (cm)	-0.06	-0.03	0.57***	-0.66***	-0.32*	0.63***
Th (cm)	-0.06	0.21	-0.24	0.12	0.39**	-0.26
L (cm)	0.11	0.10	-0.25	0.31*	0.18	-0.30*
F (cm)	-0.28	0.06	-0.40**	0.19	0.47***	-0.36*
G (cm)	0.34*	0.31*	0.34*	-0.23	-0.13	0.24
D (cm)	0.62***	0.43**	0.46**	-0.19	-0.29	0.27
Wr/Th	-0.02	-0.12	0.56***	-0.58***	-0.43**	0.62***
CCW/L (g/cm)	0.77***	0.48***	0.81***	-0.50***	-0.56***	0.62***
Pelvic limb/F (g/cm)	0.74***	0.44**	0.67***	-0.35*	-0.49***	0.48***
G/F (g/cm)	0.44**	0.12	0.55***	-0.31*	-0.48***	0.46**
G/L (g/cm)	0.21	0.19	0.43**	-0.37*	-0.21	0.37*

SE: standard error; NS: not significant; *p≤0.05; **p≤0.01; ***p≤0.001.

(1): **HCW**: Hot carcass weight; **CCW**: Cold carcass weight; **KF**: Kidney fat in grams; **PF**: Pelvic fat in grams; **KKCF**: Kidney knob channel fat in grams; **Fd**: Fatness degree (scale 1 to 4); **Cs**: Conformation score (scale EUROP) (DOCE, 1994); **KKCFs**: Kidney knob channel fat score (scale 1 to 3; Colomer-Rocher *et al.*, 1988); **Wr**: Carcass width; **Th**: Thoracic depth; **L**: Carcass internal length; **F**: Pelvic limb length; **G**: Hindquarter width; **D**: Hindquarter perimeter; **Wr/Th**: Chest roundness index; **CCW/L**: Carcass compactness; **Pelvic limb weight/F**: Pelvic limb compactness; **G/F**: Hindquarter width/pelvic limb length; **G/L**: Hindquarter width/carcass internal length index.

Table 5. Prediction equations of half carcass tissue composition from joint tissue composition.

Y=		Prediction equation of half carcass tissue	R ²	r.s.d.	
<i>Grams</i>					
Pelvic Limb	Meat	594.24+ 2.24 M	0.84	77.44	
	Bone	268.94+ 1.27 B + 0.29 M	0.68	42.37	
	Fat	-60.28+ 1.02 B + 4.80 SF+ 4.72 PF	0.77	98.11	
	<i>Percentages</i>				
	Meat	60.99 + 0.01 M - 0.02 B – 0.05 PF – 0.05 SF	0.65	1.24	
	Bone	22.74 + -0.004 M+ 0.01 B - 0.02 SF	0.56	0.86	
Fat	10.00 + 0.07 PF + 0.07 SF	0.73	1.48		
<i>Grams</i>					
Loin-rib	Meat	1502.66 + 2.48 M + 1.47 SF	0.70	107.14	
	Bone	566.57 + 0.52 M+ 1.03 B - 0.42 IF	0.49	54.34	
	Fat	458.29 + 1.79 TF	0.87	72.99	
	<i>Percentages</i>				
	Meat	57.83 + 0.01 M - 0.02 TF	0.68	1.17	
	Bone	20.76 + 0.01 B - 0.01 KF - 0.01 SF	0.64	0.78	
Fat	17.08 + 0.02 TF - 0.01 M	0.81	1.25		
<i>Grams</i>					
Thoracic limb	Meat	560.53 + 3.15 M + 1.29 B	0.72	105.07	
	Bone	423.19 + 0.57 M+ 1.08 B	0.41	57.61	
	Fat	-378.34 + 1.10 M + 4.91 TF	0.64	121.76	
	<i>Percentages</i>				
	Meat	65.09 - 0.05 TF	0.42	1.54	
	Bone	24.07 - 0.02 TF	0.28	1.08	
Fat	9.83 + 0.07 TF	0.51	1.97		
<i>Grams</i>					
Anterior-rib	Meat	1972.68 + 4.02 M + 3.28 TF	0.31	163.47	
	Bone	719.29 + 1.27 M+ 1.29 TF	0.25	64.84	
	Fat ¹				
	<i>Percentages</i>				
	Meat ¹				
	Bone	18.28 + 0.03 B	0.14	1.17	
Fat ¹					
<i>Grams</i>					
Breast	Meat	2105.25 + 3.39 M	0.34	157.74	
	Bone	913.31 + 1.47 B	0.10	70.18	
	Fat	280.12 + 4.27 TF	0.67	115.11	
	<i>Percentages</i>				
	Meat	62.11 + 0.01 M - 0.04 TF	0.58	1.34	
	Bone	26.34 - 0.02 M+ 0.03 B - 0.02 TF	0.48	0.94	
Fat	9.80 + 0.06 TF	0.62	1.74		
<i>Grams</i>					
Neck	Meat	2479.17 + 2.34 M	0.10	184.37	
	Bone ¹				
	Fat ¹				
<i>Percentages</i>					
Meat ¹					
Bone ¹					
Fat ¹					

R²: Determination coefficient. r.s.d.: residual standard deviation.

Y= carcass composition (meat, bone or fat); **M**: meat of the joint (grams); **IF**: intermuscular fat of the joint (grams); **PF**: pelvic fat of the joint (grams); **TF**: total fat of the joint (grams); **SF**: Subcutaneous fat of the joint (grams). ¹ No variable met with p<0.05 for entry into the model.

Table 6. Prediction equations of half carcass tissue composition from objective and subjective carcass measurements.

Y=	Step	Indep. Variables	Sign	R ²	r.s.d.
Meat g	1	HCW (k)	**	0.75	97.85
	2	Wr (cm)	***	0.84	79.12
	3	Pelvic limb/F (g/cm)	**	0.86	74.39
	4	CCW (k)	*	0.87	71.43
<i>Equation: 1842.43 + 375.36 HCW – 68.68 Wr – 225.01 CCW + 8.91 pelvic limb/F</i>					
Bone g	1	HCW (k)	***	0.30	62.22
	2	Cs	**	0.45	55.68
<i>Equation: 504.72 + 61.96 HCW – 20.95 Cs</i>					
Fat g	1	CCW/L (g/cm)	***	0.66	117.58
	2	KKCF (g)	***	0.78	96.39
	3	Wr (cm)	***	0.86	77.39
<i>Equation: -1450.69 + 5.34 CCW/L + 1.98 KKCF + 63.22 Wr</i>					
Meat %	1	Wr (cm)	***	0.44	1.52
	2	KKCF (g)	***	0.58	1.33
<i>Equation: 80.94 – 1.13 Wr – 0.02 KKCF</i>					
Bone %	1	KKCF (g)	***	0.42	0.96
	2	Cs	**	0.51	0.90
<i>Equation: 24.55 - 0.02 KKCF – 0.27 Cs</i>					
Fat %	1	KKCF (g)	***	0.51	1.98
	2	Wr (cm)	***	0.70	1.57
	3	L (cm)	*	0.73	1.50
<i>Equation: 17.44 - 0.45 L + 0.04 KKCF + 1.17 Wr</i>					

R²: Determination coefficient. r.s.d.: residual standard deviation. *p≤0.05; ** p≤0.01; ***p≤0.001
CCW: Cold carcass weight; **HCW**: Hot carcass weight; **CCW/L**: Carcass compactness index; **Cs**:
 Conformation score (Scale EUROP; DOCE, 1994); **KKCF**: Kidney knob channel fat weight; **L**:
 Carcass internal length; **Pelvic limb weight/F**: Pelvic limb compactness index; **Wr**: Carcass width.

Regarding tissue weight predictions, pelvic limb presented the best R² and r.s.d. for all tissues, in agreement with Flamant and Bocard (1966) and Ruiz de Huidobro and Cañeque (1994). Moreover, loin-rib and thoracic limb could also be used as good predictors for meat and fat tissue given their high R², although it was always lower than that observed in the pelvic limb. When tissue percentages were predicted, the best R² and

r.s.d. were found in loin-rib for all tissues, in keeping with Timon and Bichard (1965) and Díaz (2001).

According to the present results, the best joint to predict carcass tissue composition is the pelvic limb, followed by the thoracic limb and loin rib. However, studies on prediction equations of commercial joints are inconclusive. In Talavera light lambs Guía and Cañeque (1992) found that the best prediction equations for meat and bone were obtained from the thoracic limb and for fat from the pelvic limb. Velasco (1999) used the loin-rib and pelvic limb as predictors of the fat weight and obtained high coefficients of determination values ($R^2 = 0.91$ and $R^2 = 0.90$, respectively). Differences among studies in R^2 when carcass composition is predicted in light lambs might be due to the differences in age, breed and sex of the animals (Safari *et al.*, 2001), as well in the differences between methods to obtain joints.

3.4.2. Using carcass measurements

Saleable meat yield prediction could be used to know carcass value (Hopkins and Fogarty, 1998). Prediction equations for carcass tissue composition in weight and percentage are shown in Table 6.

To predict carcass meat weight four variables were entered in the model by the stepwise procedure (HCW, Wr, Pelvic limb/F and CCW/L). 87% of variation was explained by this model, but 75% of this variation being explained by HCW alone. To predict fat weight the equation comprised three variables (CCW/L, KKCF and Wr), CCW/L was the variable that explained 66% of the variation. The equation for carcass bone weight was less accurate ($R^2 = 0.45$); HCW was the first variable included and it explained 30% of the variation, although when Cs was included accuracy increased by 15%.

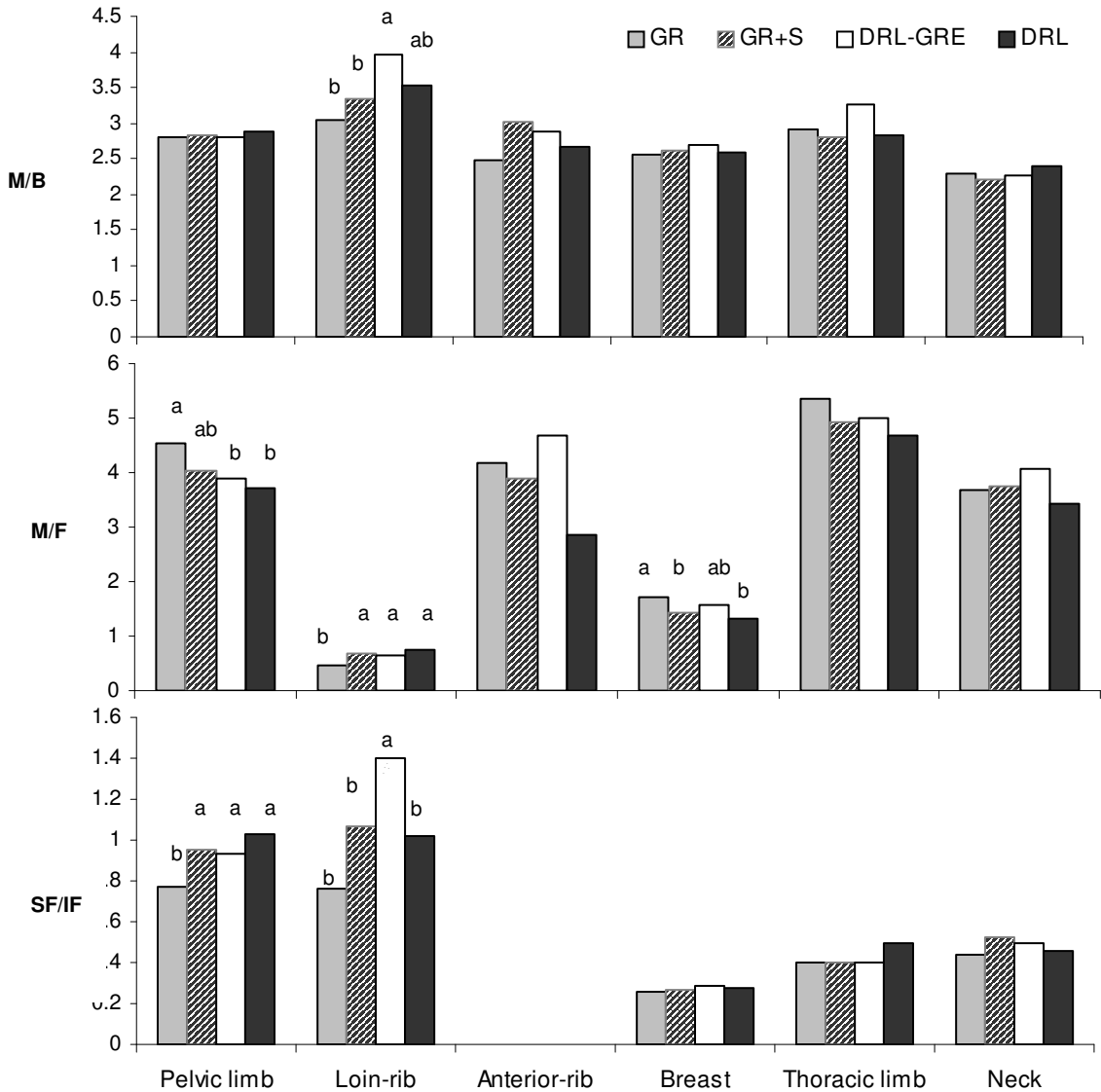
Less accurate results were obtained when the percentages of carcass tissue composition were predicted. Two objective variables, Wr and KKCF, were included to predict the meat percentage, both of which revealed negative regression coefficients. This equation explained 58% of the variation in the meat percentage of carcasses. The prediction equation for bone percentage included KKCF, which explained 42% of the variation and increased by 9% when the subjective Cs was included. The model for predicting the fat percentage included three objectives measurements: KKCF, Wr and L, and explained 73% of variability.

Measurements related to carcass weight (HCW, CCW, CCW/L) were included in the prediction models for weight of carcass tissues, but not for percentage. A fatness measurement (KKCF) was also included, mainly in the prediction of carcass tissue percentages. The prediction model for bone (grams and percentage) had the lowest R^2 , which is in concordance with the low correlation coefficients observed (Table 4). In support of the present results, Timon and Bichar (1965), Delfa *et al.* (1991; 1996) and Hopkins *et al.* (1993; 1998) observed that the best carcass tissue composition predictors were carcass weight and fat measurements.

4. Conclusions

Lambs suckling and grazing until slaughter showed the lowest percentage of carcass fat and the highest percentage of carcass bone and carcass meat in relation to lambs suckling and grazing with concentrate supplement and those indoors lambs concentrate-fed treatments. The most important effect of the feeding system on carcass tissue composition is with regard to fat depot being the greatest effect in subcutaneous fat.

Prediction of carcass tissue composition in weight was more accurate than in percentages. Pelvic limb was the most accurate joint for the prediction of whole carcass tissue composition, followed by loin-rib and thoracic limb. Nevertheless, carcass measurements are a good predictor of carcass meat and fat, but not bone. Equations to predict carcass tissue that include carcass measurements are a simple method to assess accurately saleable meat yield from different lamb feeding systems without involving carcass damage.



a, b: Different letters indicates differences ($p < 0.05$) between groups. **M/B**: Meat/Bone; **M/F**: Meat/Fat; **SF/IF**: Subcutaneous/Intermuscular fat.

Figure 1. Meat to bone, meat to fat and subcutaneous to intermuscular fat ratios in the carcass joints of Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

Ensayo 3. Influencia del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol y la calidad instrumental de la canal y de la carne en corderos ligeros de la raza Churra Tensina.

Este trabajo ha dado lugar a la publicación "Influence of feeding systems on cortisol levels and instrumental meat quality in Churra Tensina light lambs" S. Carrasco, B., Panea, G. Ripoll, A. Sanz and M. Joy. Enviado a la revista Meat Science (*MEATSCI-S-08-00839*) con fecha 21 de Noviembre de 2008.

Abstract

Forty-eight lambs were fed as follows: GR, lambs and dams grazed perennial pasture; GR+S, the same as GR except that lambs had access to concentrate; DRL-GRE, lambs in drylot with rationed grazing ewes; DRL, lambs with dams were stall-fed. DRL-GRE and DRL lambs were weaned at 45 days of age. Lambs were slaughtered when they reached 22-24 kg of live weight. Subcutaneous fat, *Longissimus thoracis* texture and muscle (*Rectus abdominis* and *Longissimus thoracis*) colour were analysed.

Handling was the most stressful event for grazing lambs, while for indoor lambs it was transport. The level of stress did not affect meat quality. Grazing lambs presented yellower subcutaneous fat and redder muscles than drylot lambs. Differences between systems relating to colour and texture of the meat disappeared with ageing time, which supports the idea that grazing systems are a good alternative to drylot systems. Subcutaneous fat colour was a suitable method to discriminate between grazing and drylot systems, but not within them.

Keywords: grazing lambs, indoors lambs, colour, texture, traceability.

1. Introduction

In Spain, the conventional light lamb production system is based on *ad libitum* concentrate feeding until slaughter between 12 to 30 kg of live weight, the most common slaughter weight being 22-24 kg. Nowadays, this production system has been altered due to several limiting factors: firstly, the EU Agricultural Common Policy is promoting extensive production systems, secondly, the considerable increase of concentrate prices and thirdly, consumers demand clear information about animal feeding, showing an interest in the 'green' image of animal products (McInerney, 2004; Prache, Cornu, Berdagué & Priolo, 2005; Demirel, Ozpinar, Nazli., & Keser, 2006). These factors are reason enough to focus research studies on feeding strategies to assess their effect on carcass and meat characteristics. When pastures are available for livestock, extensive feeding is often the cheapest strategy (Zervas, Hadjigeorgiou, Zabeli, Koutsotolis, & Tziola 1999) and provides meat with the quality required by consumers.

Extensive systems show some disadvantages when compared to indoor systems. Environment and handling practices can influence the behaviour of animals with respect to the presence of humans, transport, lairage and other stressful situations (Knowless, 1999; Van de Water, Verjans, & Geers, 2003; Ali, Al-Qarawi, & Mousa, 2006; Rousset *et*

al., 2006). Stress can have a negative influence on meat quality, causing economic losses (Warris, Young, Bevis, & Brown, 1990). The concentration of plasma cortisol and other components such as catecholamines (Sconberg, Nockels, Bennet, Bruynickx, Blancquaert, & Craig, 1993) are considered good indicators of stress (Alam, Dobson, & Fitzpatrick, 1986).

Moreover, lamb carcass (such as fatness degree, fat colour) and meat quality (such as pH, meat colour, water holding capacity and meat toughness) might change by the effect of the feeding system (Priolo, Micol, Agabiel, Prache, & Dransfield, 2002; Ripoll, Joy, Muñoz, Albertí, & Delfa, 2008b; Joy, Ripoll, & Delfa, 2008a; Joy, Álvarez-Rodríguez, Revilla, Delfa, & Ripoll, 2008b). Meat from grazing has often been associated with yellow fat (Priolo, Micol, & Agabiel, 2001; Prache *et al.*, 2005; Ripoll, Joy, Muñoz, & Albertí, 2008a) and dark, tough and little flavoured meat (Muir, Dreaker, & Bown, 1998; Vestergaard, Oksbjerg, & Henckel, 2000; Priolo *et al.*, 2002). Given that fat and meat colour have great influences on the purchase decision of consumers (Carpenter, 1966) it is necessary to assess the effect of the feeding system on these qualities in order to avoid meat rejection by the consumer. Spanish consumers in particular show a preference for pale-coloured meat from light lambs (Sañudo *et al.*, 2007). Finally, in response to consumer demands on food safety, it is necessary to develop techniques that allow the traceability of animal production systems and to distinguish between lambs raised on pasture and concentrate-fed lambs raised under indoor conditions.

In this sense, the aim of the present study was to assess the effect of the feeding system on the level of plasma cortisol and on some instrumental characteristics of carcass and meat, in Churra Tensina light lambs. The potential of instrumental colour to discriminate between carcasses from forage-fed or concentrate-fed lambs was also studied.

2. Materials and methods

2.1. Experimental site and animals

Forty-eight Churra Tensina single male lambs (3.6 ± 0.08 kg live weight at birth) were selected from the experimental flock of “La Garcipollera” Research Station (945 m.a.s.l., north-eastern Spain). Treatments were:

1. *Grazing (GR)*: Lambs and ewes were continuously stocked on a permanent pasture. No concentrate was available to dams or lambs. Lambs suckled their mothers and grazed until slaughter.

2. *Grazing with supplement for lambs (GR+S)*: The same management as GR, but in addition lambs received concentrate *ad libitum* in lamb creep feeders.
3. *Indoor lambs with grazing ewes (DRL-GRE)*: Lambs remained indoors while ewes grazed during eight hours a day (08:00 to 16:00 h). Thereafter, they received a supplement of 0.5 kg fresh matter of barley meal/day (119 g CP, 248 g NDF, on dry matter basis). This system aimed to reply the commonly used management in that region.
4. *Drylot (DRL)*: Lambs and ewes were kept always in confinement. Ewes had free access to dry unifeed (110 g CP, 681 g NDF, on dry matter basis) and lambs had concentrate *ad libitum*.

For further details of animal management, concentrate and pasture characteristics, see Carrasco *et al.* (2008a).

2.2. Slaughter and sampling procedures.

Lambs were weighed weekly until they reached 22-24 kg live weight. Before they were transported to the abattoir, trained personal collected blood samples from the lamb's jugular vein (BT) with minimum disturbance to avoid stress. Thereafter, lambs were transported to the experimental abattoir of the Research Institute in Zaragoza, which is located 180 km away from the farm. Transport was performed according to UE regulations with regard to animal welfare rules. A second blood sample was collected after transport (AT), when lambs arrived to the Research Institute. Lambs were accommodated separately according to their original treatment until slaughter. No fasting period was carried out. Grazing lambs (GR and GR+S) received fresh cut alfalfa (vegetative development) and drylot lambs (DRL-GRE and DRL) and GR+S were provided the same concentrate than during the experimental period. Twenty hours after their arrival, lambs were slaughtered according to the guidelines of the Council Directive 86/609/EEC (European Communities, 1986). During lamb bleeding a third blood sample was collected (S).

All blood samples were collected using disposable tubes containing potassium-EDTA as an anticoagulant. Samples were kept in ice until plasma was separated by centrifugation at 4°C for 12 min at 3000 rpm. Plasma was extracted and stored at -20°C for subsequent cortisol assay. Cortisol concentrations in plasma were determined by an EIA (Chacón, García-Belenguer, Illera, & Palacio, 2004) with inter- and intra-assay coefficients of

variation of 7.3% and 9.8%, respectively. All samples were run in duplicate. Concentrations were expressed as ng/ml.

2.3. Carcass and meat quality

After slaughter, carcasses were hung by the Achilles tendon and chilled 24 hours at 4 °C. From this time, all the next measures were determined. Subcutaneous fat colour at the tail root (Díaz *et al.* 2002; Ripoll *et al.*, 2008a) was measured at three selected locations, avoiding blood spots, discolorations and less covered areas. Besides, the colour of *M. Rectus abdominis* (RA) was assessed at two locations on the internal face of each selected piece to obtain a mean value representative of the surface colour, after having removed the covering fascia (Eikelenboom, Hoving-Bolink, & Hulsegge, 1992; Klont, Van Dijk, Smulders, Hoving-Bolink, & Hulsegge, 2000; Ripoll *et al.*, 2008a).

24 hours *post mortem*, carcasses were carefully split into two halves. The *M. Longissimus thoracis* and the *M. Longissimus lumborum* from left-half carcass were removed. Ultimate pH was measured on *M. Longissimus lumborum* at the 4th lumbar *vertebrae* using a pH-meter equipped with a Crison 507 penetrating electrode (Crison Instruments S.A., Barcelona, Spain). Then, *M. Longissimus thoracis* was sampled from 11th to 13th thoracic *vertebrae* and placed in a polystyrene tray, wrapped with an oxygen permeable film and kept in the dark at 4°C. Muscle colour was measured at moment 0 (immediately after cutting), the 3rd and the 6th day of blooming.

All colour measures were performed with a Minolta CM-2006d spectrophotometer (Konica Minolta Holdings, Inc, Osaka, Japan) in the CIEL*a*b* space (CIE, 1986); the lightness (L*), redness (a*) and yellowness (b*) were recorded, and hue angle (H°) and chroma (C*) indexes were calculated as $H^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*) * 57.29$, expressed in degrees and $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$.

Samples from 1st to 3rd lumbar *vertebrae* were weighed, vacuum-packaged and aged at 4°C until the 4th or the 7th day *post mortem* for texture measurements. After ageing, samples were heated in a 75°C water-bath to an internal temperature of 70°C and monitored with a Jenway termocouple provided with a probe. Cooking losses were calculated as the difference between the loin portion weight before packaging and its weigh after cooking and it was expressed as a percentage. For texture analysis, 1 cm² cross-section probes obtained in longitudinal configuration (Lepetit & Culioli, 1994) were used and were tested using a Warner-Bratzler device fitted on an Instron Universal testing machine (Model 5543). Toughness (energy per unit of volume needed to shear the

sample under the shear blade until the point of maximum load, in N/cm²) and maximum stress (maximum load per unit of cross-section, in N/cm²) were determined.

2.4. Statistical analysis

All data were analysed using SAS v.9.1. Subcutaneous fat colour, pH and the colour of the *M. Rectus Abdominis* data were analysed by an ANOVA procedure.

Plasma cortisol, colour of *M. Longissimus thoracis*, cooking losses and texture variables were analysed using a GLM procedure including feeding system and ageing time as fixed effects. In all cases, differences with a level of significance below 0.05 were considered significant.

A Principal Component Analysis was performed to establish relationships between variables. Finally, a forward stepwise discriminant analysis was carried out in order to classify feeding systems by studied variables. These analysis were carried out using the SPSS (v. 13) package.

3. Results and discussion

3.1. Plasma cortisol concentration

Plasma cortisol concentration is shown in Table 1. GR and GR+S treatments showed a marked stress at the beginning of the handling tasks, with high plasma cortisol concentrations, significantly greater than those observed in both indoor treatments (DRL-GRE and DRL; $p < 0.05$). These high cortisol concentrations in GR and GR+S were registered in all sampling times, which show that animals were not able to recover from the stress event in any posterior experimental phase. No differences in plasma cortisol concentration were observed after transport (AT) and at slaughter (S) due to the feeding system ($p > 0.05$). Present results are in agreement with those of Goddart, Fawcett, Macdonald and Reid (2000), who observed that under the human presence, lambs reared under extensive conditions, presented slightly higher cortisol concentration than those in indoor conditions. Animals in confinement get used to human presence and then, a lower level of cortisol is recorded (Knowless, 1999; Van de Water *et al.*, 2003). Additionally, GR and GR+S lambs were forced to wean just before transport, that factor being considered by some authors to be the most stressful event for lambs (Morgan and Arnold, 1974; Díaz *et al.*, 2002; Díaz, Velasco, Pérez, Lauzurica, Ruiz de Huidobro, & Cañeque, 2003).

In DRL-GRE and DRL systems, there was a significant increase in plasma cortisol concentration due to transport, with an intermediate concentration at the time of slaughter. Handling was the most stressful event for grazing lambs, while transport was for indoors lambs.

Animals were able to partially get over the stress event as the cortisol concentration at slaughter time was lower than after transport. However, since cortisol at slaughter was still higher than that before transport, there was evidence that the recovery was not complete. The cortisol variation throughout the studied period presented the same trend in GR+S, DRL-GRE and DRL systems, but lambs from indoors systems had much lower cortisol concentration before transport than lambs from GR+S system, although these differences among systems disappeared after transport. It could be inferred that in indoor lambs, accustomed to human presence and handling, transport was the most stressful event, especially in short trips, may be because lambs have no time for adaptation to changes.

Several authors reported that after a stressful event, plasma cortisol concentration can return to basal levels within a short time if the animals are in their familiar environment (Sartorelli, Dominoni, & Agnes, 1992) or after a period of adequate lairage (Van de Water *et al.*, 2003; Knowless, 1999). Therefore, a lairage period would be recommendable in young animals in order to prevent possible defects in meat quality due to stress.

Table 1. Effects of feeding system (FS) and blood sampling time (BST) on cortisol plasma concentration (ng/ml) in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	s.e.	FS
Before Transport	17.38 ^a	13.95 ^{axy}	6.88 ^{by}	6.32 ^{by}	1.93	***
After Transport	19.44	20.99 ^x	17.22 ^x	17.64 ^x	3.05	NS
At Slaughter	18.95	11.56 ^y	13.10 ^{xy}	12.96 ^{xy}	3.02	NS
s.e.	3.06	2.57	2.73	2.85		
BST	NS	*	*	*		

s.e.: standard error. NS: no significant; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001. Values in columns with different superscripts (x, y) differ significantly (p<0.05). Values in rows with different superscripts (a, b) differ significantly (p<0.05).

3.2. Subcutaneous fat colour

Effect of feeding system on subcutaneous caudal fat colour was shown in Table 2. Feeding system affected b^* and C^* parameters ($p < 0.001$), whereas there were no differences for L^* , a^* and H° ($p > 0.05$). Both grazing groups (GR and GR+S) displayed higher yellowness (b^*) and consequently higher C^* values than drylot lambs (DRL and DRL-GRE; $p < 0.05$). Values of b^* and C^* should be used to assess fat colour (Rigg, 1987; Prache & Thériez, 1999; Priolo *et al.*, 2002). In fact, the four feeding systems had the same lightness (L^*) and colour (H°), and the difference among them was in colour vividness (C^*).

Table 2. Effects of feeding system on subcutaneous caudal fat colour in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	s.e.	Sig.
L^*	74.20	72.90	72.71	72.70	0.70	NS
a^*	2.88	3.55	2.86	3.04	0.41	NS
b^*	18.75 ^a	17.90 ^a	13.80 ^b	13.75 ^b	0.51	***
H°	81.28	76.86	77.85	78.30	1.65	NS
C^*	19.03 ^a	18.31 ^a	14.12 ^b	14.11 ^b	0.53	***

s.e.: standard error. NS: no significant; *** $P < 0.001$.

Values in rows with different superscripts differ significantly ($p < 0.05$).

The higher b^* values in grazing treatments are related with the carotenoids depot in fat as a consequence of pasture intake, whereas concentrate is a poor source of carotenoid (Vestergaard *et al.*, 2000; Díaz *et al.*, 2002; Ripoll *et al.*, 2008a; Joy *et al.*, 2008b). French, Stanton, Rawless, O'Riordan, Monahan and Caffrey (2000) found significantly more yellow carcass fat (high b^* values) in animals receiving a grass diet, even in a moderate amount, than in animals whose diet did not include grass. The inclusion of concentrate in GR+S caused a decrease of yellow values as it was observed by Kerth, Braden, Cox, Kerth and Rankins (2007) and Walsh, O'Kiely, Moloney, & Boland (2007). These authors suggest that carcass fat yellowness tended to decrease as the concentrate intake increased. Contrary to the instrumental colour assessment, the subjective appraisal was not able to detect any colour differences ($p > 0.05$; see Carrasco *et al.*, 2008a). Carcasses from grazing-based systems could be introduced into market without any problem

because humans do not detect these differences, but this effect of the grass intake could be used as a tool to trace the feeding systems.

3.3. pH and meat colour

The pH values are shown on Table 3. No significant differences in meat pH among feeding systems were found, ranging from 5.54 to 5.59 ($p>0.05$), in agreement with Díaz *et al.* (2002) and Sañudo, Campo, Sierra, María, Olleta and Santolaria (1997) working with light lambs. These values correspond to a normal range ruling out dark-cutting (Immonen, Rossunen, Hissa, & Poulanne, 2000) or stress problems. It has been reported that differences in cortisol level during transport and at slaughter can lead to differences in meat pH values (Bianchi *et al.*, 2004; Rivero, 2007). However, the cortisol concentration observed in the present study was not high enough to affect the pH values, in accordance with French *et al.* (2000), Díaz *et al.* (2002) and Ripoll, Sanz, Alvarez, Joy, Delfa and Albertí (2005). Consequently transport and slaughtering processes were not stressful enough to modify the meat pH.

Table 3. Effect of feeding system on pH and colour of *M. Rectus abdominis*, in in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	s.e.	Sig.
pH	5.54	5.58	5.58	5.59	0.02	NS
L*	51.62	49.03	51.22	51.24	0.94	NS
a*	8.26 ^a	8.42 ^a	6.97 ^b	7.32 ^b	0.31	**
b*	2.74	1.43	2.12	2.14	0.79	NS
H°	15.34	7.39	15.87	15.35	4.83	NS
C*	9.13 ^a	8.99 ^a	7.48 ^b	7.84 ^b	0.45	*

s.e.: standard error. NS: no significant; * $P<0.05$; ** $P<0.01$.

Values in rows with different superscripts differ significantly ($p<0.05$).

Table 3 shows the effect of feeding system on *M. Rectus abdominis*. Feeding system only affected the redness index (a^*) and chroma (C^*). Grazing lambs (GR and GR+S) showed higher a^* and C^* than both drylot lambs groups (DRL and DRL-GRE). High a^* values are frequently reported in grazing lambs (Sañudo, Sánchez, & Alfonso, 1998; Ripoll *et al.*, 2008a) and it has been correlated with a great concentration of haem pigments in the muscle (Renner, 1986; Vestergaard *et al.*, 2000; Gil *et al.*, 2001; Dunne, O'Mara, Monahan, & Moloney, 2006). Some authors (Vestergaard *et al.*, 2000) reported that the

differences of muscle colour could be attributed to the different physical activity undertaken by the animals, but Colomer-Rocher, Delfa, and Sierra (1988) reported that in light lambs, colour of *M. Rectus abdominis* was more influenced by diet and age than by physical activity. Sañudo *et al.* (1998) reported that weaning had no influence on muscle colour, except for a^* , which was higher in weaning than in unweaning lambs.

The evolution of *M. Longissimus thoracis* colour is presented in Table 4. The feeding system had an effect on a^* ($p < 0.05$), b^* ($p < 0.01$) and C^* ($p < 0.001$), while there was an important effect of blooming time on all colour parameters ($p < 0.001$). Moreover, it was a significant interaction between feeding system and blooming period on a^* and H° ($p < 0.05$). The effect of feeding system on *M. Longissimus thoracis* colour at cutting time was similar to that observed in *M. Rectus abdominis*. This fact confirms that grazing lambs had redder meat at cutting time because it contains high amount of pigments (Gil *et al.*, 2001; Dunne *et al.*, 2006). However those differences disappeared with the blooming process (3 and 6 days after cutting time), which coincides with the result of Ripoll *et al.* (2005) when comparing meat from grazing and drylot light lambs. Between 0 and 3 days of blooming all parameters increased due to the myoglobin oxygenation, and it became stable after that time ($p > 0.05$). Similar results were found by Santé-Lhoutellier, Engel and Gatellier (2008) who observed the highest differences in the colour parameters appeared at 4 days of blooming, but at longer storage times (7 days) they scarcely varied. The same trend was observed by Feldhusen, Warnatz, Erdmann and Wenzel (1995), Insausti, Beriaín, Purroy, Albertí, Lizaso and Hernández (1999) and Oliete, Carballo, Varela, Moreno, Monserrat and Sánchez (2006) in calves, and by Ripoll *et al.* (2005) in lambs. Buckley, Morrissey and Gray (1995) concluded that colour development during the meat blooming process is complex and is closely associated with lipid and pigments oxidation.

Santé-Lhoutellier *et al.* (2008) indicated that the myoglobin oxidation over time induced an important decrease in colour parameters especially a^* values. Oliete *et al.* (2006) related those changes to the increase of metmyoglobine (Lauzurica, De la fuente, Díaz, Álvarez, Perez, & Cañeque *et al.*, 2005). The effect of blooming time increasing H° has been widely reported (Albertí, Ripoll, Casasús, Blanco, Chapullé, & Santamaría, 2005; Chasco *et al.*, 1995; Resconi, 2007; Ripoll *et al.*, 2008b), and could be considered a good indicator of discolouration in meat, as it suggested by Liu, Scheller, Arp, Schaefer and Williams (1996). When b^* and C^* values were analysed, it was observed that GR lambs presented a tendency to be more vivid than the rest of treatments, although it was significant only at 6 days of blooming ($p < 0.05$) but not at 3 days ($p > 0.05$). Resconi (2007) found that the

grass-fed lambs allowed high values of chroma at 7 days of blooming while the concentrate-fed lambs caused a decrease of that value. That can be related to the antioxidant concentration in the meat, this being higher in grass than in concentrate fed lambs. GR+S lambs showed a similar meat evolution in terms of colour to that observed in indoor treatments, which can be related to the concentrate intake, lower forage intake and lower antioxidant concentration than GR lambs. The highest C* in GR lambs could be associated with the presence of carotenoids and flavonoids and the highest α -tocopherol concentration in their diet (Simonne, Green, & Bransby, 1996; Lynch, Kerry, O'Sullivan, Lawlor, Buckley, & Morrissey, 2000).

Table 4. Effect of feeding system (FS), blooming time (B) and the interaction (FSxB) on *M. Longissimus thoracis* colour in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	Blooming time (B)	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	s.e.	FS	B	FSxB
L*	0 d	42.27 ^y	40.89 ^y	42.23 ^y	43.07 ^y				
	3 d	45.31 ^x	44.84 ^x	46.92 ^x	46.91 ^x	0.96	NS	***	NS
	6 d	44.99 ^x	44.84 ^x	46.42 ^x	44.23 ^x				
a*	0 d	11.18 ^{ay}	11.16 ^a	9.43 ^{by}	10.14 ^{by}				
	3 d	12.31 ^x	11.75	12.41 ^x	12.19 ^x	0.34	*	***	*
	6 d	12.66 ^x	11.95	11.58 ^x	12.14 ^x				
b*	0 d	10.87 ^y	10.57 ^y	10.17 ^y	10.57 ^y				
	3 d	15.55 ^{ax}	14.34 ^{bx}	14.90 ^{abx}	14.66 ^{abx}	0.33	**	***	NS
	6 d	15.74 ^{ax}	14.38 ^{bx}	14.16 ^{bx}	14.64 ^{bx}				
H ^e	0 d	44.09 ^{by}	43.38 ^{by}	47.22 ^{ay}	46.92 ^{ay}				
	3 d	51.61 ^x	50.66 ^x	50.27 ^x	50.36 ^x	0.80	NS	***	*
	6 d	51.11 ^x	50.22 ^x	50.82 ^x	50.36 ^x				
C*	0 d	15.62 ^{ay}	15.39 ^{ay}	13.89 ^{by}	14.84 ^{by}				
	3 d	19.87 ^{ax}	18.55 ^{bx}	19.40 ^{abx}	19.09 ^{abx}	0.41	***	***	NS
	6 d	20.22 ^{ax}	18.70 ^{bx}	18.30 ^{bx}	19.03 ^{bx}				

s.e.: standard error; NS: no significant; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001.

Values in columns with different superscripts (x, y) differ significantly (p<0.05). Values in rows with different superscripts (a, b) differ significantly (p<0.05).

3.4. Cooking losses and Instrumental texture variables

Cooking losses were not affected either by the feeding system or by the ageing time (Table 5, $p>0.05$). Several authors, comparing different diets observed no differences in cooking losses (French *et al.*; 2000, French, O'Riordan, Monahan, Caffrey, Mooney, & Troy, 2001; Cerdeño, Vieira, Serrano, Lavín, & Mantecón, 2006; Razminowicz, Kreuzer, & Scheeder, 2006), whereas others reported higher cooking losses on forage diets (Mandell, Buchanan-Smith, & Campbell, 1998; Santos-Silva, Mendes, & Bessa, 2002). Some studies revealed a significant effect between feeding systems but they did not find clear pattern to explain it (Dinius and Cross, 1978; Hedrick *et al.*, 1983). Moreover, Kemp, Johnson, Stewart, Ely and Fox (1976) suggested that the cooking losses are mostly due to differences in fatness. Leaner meat should have more evaporative losses while fatter meat should have more drip loss. In the current study there were no differences among feeding systems for the intramuscular fat content (Carrasco, Ripoll, Panea, & Joy, 2008b), which could explain the lack of differences in cooking losses in this study. Besides, pH is an influencing factor on water-holding capacity (Gault, 1985) and no differences were observed in pH values.

Maximum stress and toughness were affected by feeding system and ageing time (Table 5; $p<0.01$). GR lambs presented meat with lower toughness values than drylot lambs (DRL-GRE and DRL) and the GR+S system had intermediate values. Effect of the diet on meat toughness is not clear and sometimes results from different studies are contradictory. Some authors found higher values of shear force and toughness for meat from concentrate-fed lambs than from pasture animals (Santos-Silva *et al.*, 2002; Ripoll *et al.*, 2005), whereas others did not find significant differences (French *et al.*, 2001; Cerdeño *et al.*, 2006). Moreover, other studies related the highest level of intramuscular fat in the meat from drylot systems with tender meat (Kemp, Mahyuddin, Ely, Fox, & Moody, 1981; Mitchell, Reed, & Rogers, 1991; Angood, Wood, Nute, Whittington, Hughes, & Sheard, 2008). On the other hand, as was reported by Sañudo *et al.* (1998) and Vergara and Gallego (1999) in light lambs, weaning did not affect meat tenderness. The present results may be related to the amount of exercise that the lambs have, as Aalhus, Price, Shand and Hawrysh (1991) suggested. In that study, muscles from exercised lambs were significantly tenderer than those from their indoor counterparts. The reason for that is that the relative increase of myofibrillar tissue is greater than that of connective tissue.

With regard to the ageing process, as was expected, values of both variables decreased significantly from 4 to 7 days of ageing regardless of the feeding system (Warris *et al.*, 1990, Koohmaraie, 1994). Crouse, Koohmaraie and Seideman (1991) and Martínez-Cerezo *et al.* (2005) reported that ageing tends to eliminate differences in myofibrillar toughness.

Table 5. Effects of feeding system (FS), ageing period (A) and the interaction (FSxA) on cooking losses and on instrumental texture variables of *M. Longissimus thoracis*, in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	Ageing period (A)	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	s.e.	FS	A	FSxA
Cooking losses (%)	4 d	21.40	21.95	18.83	22.14	1.12	NS	NS	NS
	7 d	22.01	24.09	21.15	22.89				
Maximum stress (N/cm ²)	4 d	29.9 ^{ax}	33.8 ^{abx}	41.2b ^x	40.8 ^{bx}	2.7	**	***	NS
	7 d	22.1 ^y	24.4 ^y	28.9 ^y	27.4 ^y				
Toughness (N/cm ²)	4 d	10.3 ^{ax}	12.6 ^{abx}	15.1b ^x	14.0 ^b	0.9	***	***	NS
	7 d	7.0 ^y	8.1 ^y	10.7 ^y	10.2				

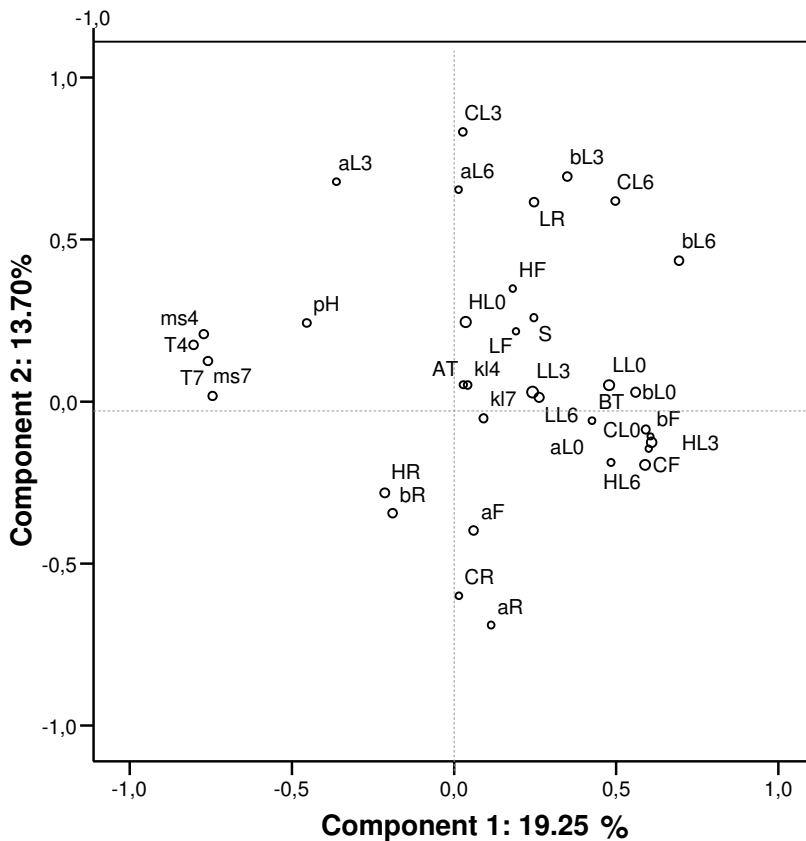
s.e.: standard error; NS: no significant; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; Values in columns with different superscripts (x, y) differ significantly (p<0.05). Values in rows with different superscripts (a, b, c) differ significantly (p<0.05).

3.5. Principal components analysis

Figure 1 shows the principal component analysis results. Component 1 explained 19.25% of total data variability whereas Component 2 explained 13.70% of the variability. Therefore, only 32.95% of variability of the data can be explained by this analysis. It can be observed that all variables corresponding to *M. Longissimus thoracis* as a*, b* and C* at 3 and 6 days were depicted near to each other in the top right quadrant, far from the origin of the coordinates, while colour variables at 0 hours were depicted near to the origin. Similarly, texture variables were mainly located in the top left quadrant, close to pH, indicating that pH is certainly an important factor determining meat texture. The relationship between pH and colour variables does not seem to be significant. Cortisol concentrations before transport (BT) were located close to positive x-axis and far from the origin, showing that it was an important variable. However, cortisol concentrations after transport (AT) and at slaughter (S) were near to the origin of coordinates indicating that they did not explain variability. This pattern agrees with the above-mentioned conclusion

that transport is the major stressor for light lambs. Fat colour was mainly located in the bottom right quadrant and in general it was poorly related with the rest of the variables. Finally, b^* and H° of *M. Rectus abdominis* were depicted in the bottom left quadrant, opposite the *M. Longissimus thoracis* colour variables, indicating a strong correlations between them. That result revealed that *M. Rectus abdominis* colour can be used as a meat colour prediction, as it is easier and faster than the *M. Longissimus thoracis*, and furthermore its implementation on the abattoir line is feasible.

Figure 1. Principal components analysis for studied variables of Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL)



BT, AT, S.- cortisol concentration before transport, after transport and at slaughter respectively; **LF, aF, bF, HF, CF.-** L^* , a^* , b^* , H^* and C^* of subcutaneous fat; **pH.-** pH; **LR, aR, bR, HR, CR.-** L^* , a^* , b^* , H^* and C^* of *M. Rectus abdominis*; **LL0, aL0, bL0, HL0, CL0.-** L^* , a^* , b^* , H^* and C^* of *M. Longissimus thoracis* at moment 0 (immediately after cutting the meat); **LL3, aL3, bL3, HL3, CL3.-** L^* , a^* , b^* , H^* and C^* of *M. Longissimus thoracis* at 3 days blooming; **LL6, aL6, bL6, HL6, CL6.-** L^* , a^* , b^* , H^* and C^* of *M. Longissimus thoracis* at 6 days blooming; **kl4, kl7.-** cooking losses at 4 and 7 days of ageing, **T4, T7.-** toughness at 4 and 7 days of ageing; **ms4, ms7.-** maximum stress at 4 and 7 days of ageing

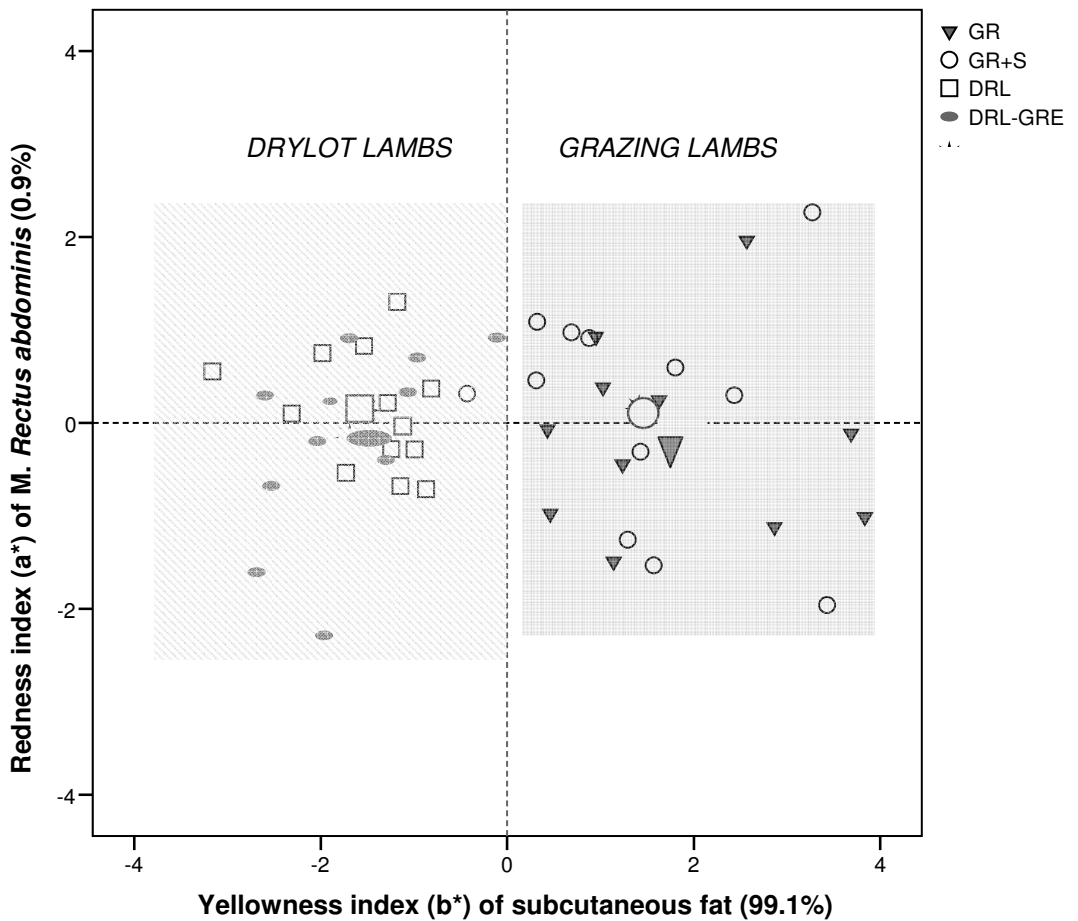


Figure 2. Discriminant analysis of studied variables that discriminate light lambs from four feeding systems: lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

3.6. Discriminant analysis

The result of the discriminant analysis including all data variables is shown in Figure 2. There was a clear separation of carcasses between grazing (GR and GR+S) and drylot groups (DRL-GRE and DRL). Function 1 accounted for 99.1% of the total variability and was mainly determined by b^* from subcutaneous fat ($r= 0.82$), while Function 2 accounted

only for 0.9% of total variability and was mainly determined by a^* of *M. Rectus abdominis* ($r=0.93$).

Table 6 shows the proportion of lambs classified correctly into their current groups. Some lambs belonging to GR group were exchanges to GR+S group and *vice versa*. Similar state happened among drylot groups. On average, 45.47% of the lambs were correctly allocated into their current group. It can be concluded that the studied variables were able to accurately distinguish between grazing and drylot lambs, but not to clearly separate the four feeding systems studied.

Table 6. Percents of lambs classified correctly into their current groups according to a discriminant function based on studied variables.

		Predicted			
		GR	GR+S	DRL-GRE	DRL
Original	GR	36.4	63.6	-	-
	GR+S	41.7	50.0	-	8.3
	DRL-GRE	-	-	45.5	54.5
	DRL	-	-	50.0	50.0

4. Conclusions

Handling was only a stressful event for grazing lambs, but transport was the most stressful event observed for all lambs. However, in the present conditions, handling, transport and slaughtering processes were not stressful enough to modify the instrumental meat characteristics. The pH was not affected by the feeding system. Grazing lambs had yellower subcutaneous fat and redder muscle colour (*M. Rectus abdominis* and *M. Longissimus thoracis*) than drylot lambs. The effect of feeding system on meat colour disappeared with the blooming. Same tendency is observed in meat texture. At 4 days of ageing, the meat from grazing lambs was tenderer than meat from drylot lambs, but at 7 days these differences disappeared. The study of the principal component analysis showed few relationships between variables. Subcutaneous fat yellowness was a suitable method to discriminate between grazing and drylot systems but not within them. Both grazing systems, especially with supplementation, are viable feeding systems since instrumental differences between feeding systems disappeared with the ageing process.

Ensayo 4. Diversificación de los sistemas de alimentación en corderos ligeros: Evaluación del valor nutritivo y características sensoriales de la carne.

Este trabajo ha dado lugar a la publicación "Diversification of feeding systems for light lambs: Evaluation of the nutritive value and of the sensorial characteristics of meat" S. Carrasco, M. Joy, G. Ripoll and B. Panea. Enviado a la revista Meat Science (*MEATSCI-D-08-00572*) con fecha 04 de Noviembre de 2008.

Abstract

Forty-eight light lambs were used as followed: GR, lambs with dams continuously on pasture; GR+S, like GR but lambs had free access to concentrate; DRL-GRE, lambs in drylot with rationed grazing ewes; DRL, lambs in drylot with dams indoors. DRL-GRE and DRL lambs were weaned at 45 days of age. All lambs were slaughtered on reaching 22-24 kg of live weight.

Meat from grazing lambs (GR and GR+S) presented the lowest values of C18:2*n*-6/C18:3 *n*-3 and *n*-6/*n*-3, displaying intermediate values DRL-GRE lambs. Sensorial attributes were not affected by the feeding system. Discriminate analysis using fatty acid composition was able to distinguish lambs from each feeding system. In conclusion, the diet of ewes during lactation affects the FA composition of meat of light lambs and the lack of effect of the feeding system on sensorial attributes supports the grazing system as a good alternative to indoor-feeding system.

Keywords: grazing; indoors; meat quality; traceability; fatty acid composition.

1. Introduction

In European Mediterranean countries, lambs are traditionally reared with their dams in indoors conditions until weaning (about 45 days) and thereafter fattened with concentrate until slaughter, at around 20-24 kg live weight. Consumers are used to this kind of meat and consider it a high quality product (Sañudo, Sánchez & Alfonso, 1998a). Nowadays, the recent and constant increases in cereal prices have constraining this production system, causing many farms to become unprofitable. Moreover, consumers require safe, healthy and convenient meat, with a consistent eating quality. With this scenario, one of the aims in animal products is to increase fatty acids beneficial for human health by means of animal feeding in order to obtain more attractive meat (Demirel, Ozpinar, Nazil & Kesser, 2006; Scollan, Hocquette, Nuernberg, Dannenberger, Richardson & Moloney, 2006).

The abovementioned circumstances support strategies that enhance extensification in animal production, the grazing systems being an alternative to indoor production systems. The feeding system can affect lamb performance, carcass traits and/or meat characteristics (Santos-Silva, Mendes & Bessa, 2002a; Joy, Álvarez-Rodríguez, Revilla, Delfa & Ripoll, 2008a; Carrasco *et al.*, 2008a). Besides, it is possible to modify the fatty acid (thereafter FA) composition of the meat through the feeding system (Enser, Hallet,

Hewett, Fursey, Wood & Harrington, 1998; Rowe, Macedo, Visentainer, Souza & Matsushita, 1999; Wood *et al.*, 2008). Supplementation with concentrate leads to a high presence of C18:2 and a low presence of C18:3 increasing the *n-6/n-3* ratio of polyunsaturated fatty acids (PUFA) with respect to forage-fed lambs (Santos-Silva, Bessa & Santos-Silva, 2002b). Since the nutritive value of the meat is related to a low fat content, a high ratio of polyunsaturated fatty acids to saturated fatty acids (PUFA/SFA), and low *n-6/n-3* PUFA ratio (Department of Health, 1994; Enser *et al.*, 1998; Demirel *et al.*, 2006; Scollan *et al.*, 2006), is necessary to describe the effect of feeding system on those aspects (Kemp, Mahyuddin, Ely, Fox & Moody, 1981; Rowe *et al.*, 1999). In addition to the effect on the nutritive value of the meat, FA profile can influence the organoleptic characteristics, especially regarding flavour (Wood & Enser, 1997) although literature about this is not conclusive.

Finally, consumers increasingly demand clear information regarding production systems, especially animal feeding and management. Recently, efforts have been made to trace feeding systems in herbivores in order to implement food safety (Prache, Cornu, Berdagué & Priolo, 2005; Ripoll, Joy, Muñoz & Albertí, 2008a) and the FA profile can act as a tracer of the animal diet (Santos-Silva *et al.*, 2002b; Auroisseau *et al.*, 2007a, Auroisseau, Bauchar, Galot, Prache, Micol & Priolo, 2007b).

The aim of the present study was to assess the effect of the feeding system on chemical composition, fatty acid profile, nutritive value and sensorial meat quality in Churra Tensina light lambs, and additionally, the fatty acid profile was evaluated in order to trace feeding systems.

2. Material and methods

2.1. Animal management

Forty-eight Churra Tensina single male lambs (3.6 ± 0.08 kg live-weight at birth) were selected from the experimental flock of “La Garcipollera” Research Station (945 m.a.s.l., north-eastern Spain). Animal management had been widely explained by Carrasco *et al.*, (2008a). The treatments were:

1. *Grazing (GR)*: Lambs and ewes were continuously stocked on a permanent pasture. No concentrate was available to dams or lambs. Lambs suckled their mothers and grazed until slaughter.

2. *Grazing with supplement for lambs (GR+S)*: The same management as GR, but these lambs received concentrate *ad libitum* in lamb creep feeders until slaughter.
3. *Indoor lambs with grazing ewes (DRL-GRE)*: Lambs remained drylot and fed creep while ewes grazed eight hours a day (08:00 to 16:00 h). Thereafter, they received a supplement of 0.5 kg fresh matter of barley meal/day (119 g CP, 248 g NDF, on dry matter basis). This system aimed to replicate the most commonly used management in that region.
4. *Drylot (DRL)*: Lambs and ewes were always kept in confinement. Ewes had free access to dry unifeed (110 g CP, 681 g NDF, on dry matter basis) and lambs had concentrate *ad libitum*.

2.2. Slaughter procedure

Lambs were weighed every week until they reached 22-24 kg live weight and then slaughtered as described by Carrasco *et al.* (2008a). After 24 h of refrigeration at 4°C, the tail was removed from the carcass and the carcass was carefully split longitudinally. The *M. Longissimus thoracis et lumborum* were removed from the left half carcasses. Loin portion from 6th to 10th thoracic *vertebrae* was taken for chemical analysis and the loin portion from 1st to 6th lumbar *vertebrae*, for the sensorial analysis. All samples were vacuum-packed and frozen (-20°C) until analysis.

2.3. Chemical composition of the meat and fatty acid profile

Samples were thawed to 25°C and minced. Moisture (AOAC, 1999), intramuscular fat (AOCS, 2004) and crude protein (Dumas procedure; AOAC, 1999) were determined. Fatty acid methyl esters were obtained using a solution of boron trifluoride 20% in methanol (Rule, 1997). Analysis of fatty acid methyl esters was performed by gas chromatography with a 30 m capillary column SP2330 (Supelco, Tres Cantos, Madrid) and a flame ionisation detector with Helium as the carrier gas at 1 mL min⁻¹. The oven temperature was programmed to increase from 150 to 225°C at 7°C per min. Injector and detector temperatures were both 250°C. Individual fatty acid content was expressed in percentage of the total amount of fatty acids identified.

After determination of individual fatty acids, saturated fatty acids (SFA = C14:0 + C16:0 + C18:0 + C20:0), monounsaturated fatty acids (MUFA = C16:1 + C18:1), and polyunsaturated fatty acids (PUFA = C18:2n-6 + C18:3n-3 + C20:4 + C20:5 + C22:6), as

well as the nutritional ratios PUFA/MUFA, C18:2n-6/C18:3n-3 and n-6/n-3 [(C18:2n-6 + C20:4) / (C18:3n-3 + C20:5 + C22:6)] were calculated.

2.4. Sensory analysis

On the day of the panel test, samples were thawed under tap water until they reached an internal temperature of 17–19°C, wrapped in aluminium foil and cooked in a preheated double plate grill (SAMMIC P8D-2; pre-heated to 200°C) to an internal temperature of 70°C, which was monitored by an internal thermocouple (JENWAY 2000). Every loin was then trimmed of any external connective tissue, cut into samples of 2x2 cm, wrapped in individually marked aluminium foil and stored in a warm cabinet at 50°C until they were tasted. Samples were randomly served to a trained eight-member sensory panel in individual booths under red lighting to mask differences in meat colour. A comparative multi-sample test, with four samples each, was used to detect differences in sensory attributes among treatments. The sensory variables analysed were lamb odour intensity, abnormal odour intensity, tenderness, juiciness, lamb flavour intensity, fat flavour intensity, abnormal flavour intensity and overall liking, using a structured 10-point scale, in which 1 represented the lowest value and 10 the highest value for the attribute.

2.5. Statistical analysis

One-way ANOVA was performed using GLM procedure from the Statistical Analysis System package (9.1 versions, SAS Institute, Cary, NC, USA) according to the following model:

$$Y_{ij} = \mu + D_i + \xi_{ij}$$

Where Y_{ij} is the dependent variable; μ , the overall mean; D_i , the effect of the feeding system (GR, GR+S, DRL-GRE or DRL); ξ_{ij} the residual error.

Differences between the means were determined using the Duncan test. A level of significance below 0.05 was considered significant.

Pearson correlations between fatty acids and carcass characteristics, as well as between fatty acids and sensory attributes were performed by the CORR procedure. Then, a canonical discriminant analysis was carried out on group feeding systems according to the fatty acid composition of the meat.

3. Results and discusión

3.1. Chemical composition of the meat

The feeding system affected the moisture ($p < 0.01$) and protein ($p < 0.001$) content of meat, but had no effect on intramuscular fat content ($p > 0.05$) (Table 1). Grazing lambs (GR, GR+S) showed a higher level of moisture and protein than drylot lambs (DRL, DRL-GRE) ($p < 0.05$). When forages are included into the diet instead of concentrate an increase of moisture and protein, and a decrease in fat content of meat are expected (French *et al.*, 2001; Velasco, Cañeque, Lauzurica, Pérez & Huidobro, 2004; Lee, Kouakou & Kannan, 2008). The greater daily accretion rate of protein, greater than fat registered in low energy diets, as is the case of forage, involves an increase of water content in the muscles.

3.2. Fatty acid composition of intramuscular fat

As expected, the most abundant fatty acids observed in the present study were oleic acid (C18:1, 37.7 ± 2.32), palmitic acid (C16:0, $22.8\% \pm 1.57$), and stearic acid (C18:0, $13.1\% \pm 1.26$). They accounted for approximately two thirds of the total fatty acid amount (Table 1) in line with the results reported by most authors (Kemp *et al.*, 1981; Rowe *et al.*, 1999; Kosulwat, Greenfiel & James, 2003; Velasco *et al.*, 2004; Arana, Mendizábal, Alzón, Eguinoa, Beriain & Purroy, 2006).

3.2.1. Saturated and monounsaturated fatty acids

The feeding system had an effect on C16:0 ($p < 0.001$), C18:0 ($p < 0.05$), and C20:0 ($p < 0.001$) and did not affect C14:0 content ($p > 0.05$) (Table 1). Grazing lambs (GR and GR+S) presented lower proportions of C16:0 and higher proportions of C20:0 than drylot lambs (DRL-GRE and DRL; $p < 0.05$). C18:0 content in GR was greater than that found for the treatments receiving concentrate, although only was significantly different in the case of GR+S and DRL-GRE ($p < 0.05$).

The similar content of C16:0 obtained in GR and GR+S was unexpected since concentrate intake increases this FA content (Arousseau *et al.*, 2007a). The FA composition of the grazed ewe's milk, which had low levels of C14:0 and C16:0, is reflected in the suckling lamb meat (Velasco *et al.*, 2004; Scerra, Caparra, Foti, Galofaro, Sinatra & Scerra, 2007). As a result, it seems that in the present study, the unweaned status of the GR+S group has helped to maintain a low content of C16:0. Supporting this

Table 1. Effect of feeding system on chemical composition, fatty acid composition (percentage of total fatty acids) and nutritional ratios of m. *Longissimus dorsi* in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

		GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
<i>Chemical composition (%)</i>							
Moisture		77.39 ^a	77.24 ^a	76.56 ^b	76.72 ^b	0.50	**
Intramuscular fat		1.44	1.63	1.50	1.67	0.08	NS
Crude protein		20.27 ^a	20.02 ^a	19.30 ^b	19.07 ^b	0.21	***
<i>Fatty acid composition</i>							
C14:0	Myristic	5.46	4.89	4.83	4.62	0.30	NS
C16:0	Palmitic	21.51 ^b	21.82 ^b	24.05 ^a	23.86 ^a	0.35	***
C16:1	Palmitoleic	2.42	2.61	2.65	2.45	0.11	NS
C18:0	Stearic	14.10 ^a	12.58 ^b	12.44 ^b	13.34 ^{ab}	0.35	*
C18:1	Oleic	36.64	37.50	38.13	38.35	0.75	NS
C18:2n-6	Linoleic	5.04 ^c	6.18 ^b	7.02 ^b	8.53 ^a	0.39	***
C18:3n-3	Linolenic	2.27 ^a	2.46 ^a	1.29 ^b	0.46 ^c	0.16	***
C20:0	Arachidic	2.10 ^a	1.93 ^a	1.14 ^b	0.60 ^c	0.10	***
C20:4	Arachidonic	2.38 ^b	2.04 ^b	2.19 ^b	2.98 ^a	0.20	**
C20:5	Eicosapentaenoic acid (EPA)	1.42 ^a	1.47 ^a	0.90 ^b	0.36 ^c	0.16	***
C22:6	Docosahexaenoic acid (DHA)	1.14 ^a	1.17 ^a	0.71 ^b	0.59 ^b	0.08	***
SFA	Saturated fatty acid	43.17	41.21	42.46	42.42	0.58	NS
MUFA	Monounsaturated fatty acid	39.06	40.12	40.78	40.79	0.75	NS
PUFA	Polyunsaturated fatty acid	12.24	13.32	12.11	12.91	0.74	NS
<i>Nutricional ratios</i>							
PUFA/SFA		0.29	0.33	0.29	0.31	0.02	NS
C18:2n-6/C18:3n-3		2.26 ^c	2.53 ^c	6.34 ^b	18.64 ^a	0.54	***
n-6/n-3		1.61 ^c	1.64 ^c	3.64 ^b	8.44 ^a	0.35	***

SE: standard error; NS: no significant; **p≤0,01; ***p≤0,001.
 $n-6/n-3 = (C18:2n-6 + C20:4) / (C18:3n-3 + C20:5 + C22:6)$;

hypothesis, Cañeque *et al.* (2001) reported that lambs which remained with their dams until slaughter presented higher proportions of MUFA than weaned lambs.

Additionally, Joy, Ripoll and Delfa (2008b), found values similar to current results when comparing the FA profile of unweaned grazing light lambs to that of weaned indoors lambs fed grazing ewe's milk until weaning.

Grazing lambs presented higher concentrations of saturated long-chain FA in the form of C18:0 and C20:0 ($p < 0.05$), in line with several authors (Kemp *et al.*, 1981; Velasco *et al.*, 2001; Arousseau, Bauchar, Calichon, Micol & Priolo, 2004, Arousseau *et al.*, 2007a,b; Nuemberg, Fischer, Nuemberg, Ender & Dannenberger, 2008), but no effect of the feeding system was observed on total SFA (Table 1; $p > 0.05$) (Santos-Silva *et al.*, 2002b). Several studies concluded that fat from grass-fed ruminants is more saturated than fat from concentrate-fed lambs (Rowe *et al.*, 1999; Rhee *et al.*, 1992; Scerra *et al.*, 2007) mainly due to the higher proportion of C18:0. This greater proportion might be the result of the elongation of the saturated short-chain FA and/or the ruminal biohydrogenation of unsaturated FA chains (Chang, Lunt & Smith, 1992; Arousseau *et al.*, 2004). Regarding nutritional quality, the most significant SFA is C16:0 content because of its atherogenic potential (Vorster, Cummings & Jerlling, 1997). In contrast, C18:0 does not increase total cholesterol or LDL cholesterol concentrations (Williams, 2000). Based on the results of the current study, it would be more advisable to recommend grazing lambs, since the content in 16:0 is significantly lower than that observed in drylot lambs (DRL-GRE and DRL).

Total MUFA, C16:1 and C18:1, were not affected by the feeding system (Table 1; $p > 0.05$) (Santos-Silva *et al.*, 2002b). In contrast, several studies concluded that grazing lambs presented lower content of C16:1 and C18:1 than drylot lambs (Rowe *et al.*, 1999; Bas & Morand, 2000; Fisher *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2008). The short rearing period studied may explain the lack of effect of the treatment on the aforementioned FA.

3.2.2. Polyunsaturated fatty acids

The proportions of individual PUFA were affected by the feeding system (Table 1), according to Nuemberg *et al.* (2008) or Rowe *et al.*, (1999). Grass lipids are characterized by a predominance of C18:3 n -3, a precursor of the n -3 series, whereas concentrate contains high levels of C18:2 n -6, a precursor of the n -6 series (Enser & Wood, 1995; Fisher *et al.*, 2000; Oriani, Maiorano, Filetti, Di Cesare, Manchisi & Salvatori, 2005). Therefore, grazing lambs presented a lower proportion of C18:2 n -6 and a higher

proportion of C18:3*n*-3 than their concentrate counterparts (Rowe *et al.*, 1999; Velasco *et al.*, 2001; Santos-Silva *et al.*, 2002b; Scerra *et al.*, 2007; Nuernberg, *et al.*, 2008).

Regarding C18:2*n*-6 the lowest content was found in GR lambs, followed by GR+S and DRL+GRE the highest content was observed in DRL lambs. The influence of the diet on the pattern of ruminal fermentation may be responsible for this result. Concentrate provides high levels of C18:2*n*-6 (Petrova, banskalieva & Dimov, 1994; Velasco *et al.*, 2001) with an increase in the available soluble carbohydrates and a decrease in the hydrogenase activity, with less conversion of C18:2 into C18:0 (Tove & Matrone, 1962).

Supplementation of grazing lambs (GR+S) did not reduce the percentage of C18:3*n*-3 with respect to GR, in agreement with Velasco *et al.* (2001). Moreover, a significant difference between DRL-GRE and DRL lambs was observed, despite the fact that these lambs were fed concentrate during the whole duration of the experiment. The significantly higher content of C18:3*n*-3 in DRL-GRE compared to DRL could be a consequence of the ewes' diet during the lactation period. In DRL-GRE treatment ewes' diet was based on grazing plus 500 g of barley grain, while DRL ewes only received a dry mixed ration without fresh forage. The milk feeding is reflected on the FA profile of lamb tissues, although it gradually disappears after weaning (Bas *et al.*, 2000). In the present study, lambs were less than 80 days old (See Carrasco *et al.*, 2008a), this might have been not enough time to cause the disappearance of the abovementioned effect. The present result shows that, the FA composition of meat in light lambs is influenced by the feeding system of dams.

As far as C20:4 are concerned, the drylot lambs (DRL, DRL-GRE) presented the highest level, which is positively related to the greater content of C18:2*n*-6, the precursor of the former long fatty acid (Demirel *et al.*, 2006). The contents of C20:5 and C22:6 were nearly twofold higher in grazing lambs than in drylot lambs, in concordance with the greater content of their precursor, C18:3*n*-3 (Rhee, 1992; Demirel *et al.*, 2006; Scerra *et al.*, 2007).

Several authors (Díaz *et al.*, 2002; Arsenos, Kufidis, Zygyiannis, Katsaounis & Stamataris, 2006) reported that variations of slaughter weight (SW), fatness degree (FD) and intramuscular fat (IF) can lead to changes in the FA profile. Table 2 shows the correlation coefficients between FA composition and SW, FD, and IF for each feeding system. An increase in the slaughter weight had an effect only on grazing lambs, promoting an increase of SFA or MUFA percentages and a decrease of PUFA percentage. Moreover, in GR lambs an increase of FD promoted changes similar to those

originated by an increase of SW, i.e, an increase of the SFA or MUFA percentage and a decrease of the PUFA percentage. These results are in agreement with those reported by Kosulwat *et al.* (2003) which observed positive correlations between FD and C14:0, C16:0 and C16:1 in grazing lambs. No changes in the FA profile were observed in the GR+S and DRL-GRE groups when increasing the FD, whereas in DRL lambs an augment of C18:0 and of C20:4 when FD increased was observed. Regarding IF, its effect was noticeable only in indoor lambs. Thus, an increase of IF promoted an increase in PUFA and a reduction of SFA or MUFA percentages. Hence, the increase of C16:0 associated to concentrate feeding described by Aourousseau *et al.* (2007a) seems to be more significant in internal fat depots than in subcutaneous fat depots. From the correlations observed, an increase of SW, FD or IF in both, grazing and indoor groups of treatments, may not be advisable as it involves an increase of C14:0, C16:0 and C16:1 content that could indirectly increase human cholesterol levels (FAO/WHO, 1994; Nestel, Clifton & Noakes, 1994).

Table 2. Correlation coefficients between fatty acid composition of *M. Longissimus dorsi* with slaughter weight (SW), fatness degree (FD) and intramuscular fat (IMF) according to the feeding system in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with dams fed in confinement (DRL). Only significant coefficients are shown.

Fatty acids	GR			GR+S			DRL-GRE			DRL		
	SW	FD	IF	SW	FD	IF	SW	FD	IF	SW	FD	IF
C14:0	0.84**	0.71*										
C16:0				0.66*								0.69*
C16:1	0.74*	0.68*										0.73*
C18:0											0.66*	
C18:1												
C18:2 <i>n</i> -6		-0.77*		-0.73*					0.89**			
C18:3 <i>n</i> -3												
C20:0		0.82**										
C20:4	-0.67*								0.82**		0.63*	
C20:5		-0.73*							-0.73*			
C22:6	-0.72*											

Correlation coefficients with $p > 0.05$ are not showed. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

3.2.3. Nutritional ratios

The nutritive value of meat in the human diet can be assessed by the PUFA/SFA ratio, which it is recommended to be 0.45 or above (Departament of Health, 1994). Recently,

nutritionists have focused on the type of PUFA and the balance between *n*-6PUFA and *n*-3PUFA (*n*-6/*n*-3) in the diet (Williams, 2000). This ratio should not be higher than 4, as it is a risk factor for cancer and coronary heart diseases (Enser, Scollan, Gullati, Richardson, Nute & Wood, 2001). The ratio of the precursors C18:2*n*-6/C18:3*n*-3 is recommended to be equal to or less than 1.0 – 2.0 (Enser *et al.*, 1995) and in ruminants this ratio normally is twofold higher than *n*-6/*n*-3 ratio (Enser *et al.*, 1998). Besides, several FA are directly related to human health. An increase in C18:3*n*-3 level can be considered beneficial to human health because it is effective in preventing cardiovascular diseases (Williams, 2000). In contrast to this beneficial effect, it may reduce the firmness of fat and increase the risk of PUFA peroxidation (Gill, McCone, Onibi, Peatfield & Gall, 1995; Warnants, Van Oeckel & Bouquet, 1996).

PUFA/SFA ratio was not affected by feeding systems ($p>0.05$), showing values that were lower than those recommended by the Department of Health (1994), i.e, 0.30 instead of 0.45. Similarly, Joy *et al.* (2008b), when comparing grazing lambs and indoor lambs, did not observe any effect of the feeding system on said ratio, which was found to be between 0.21 and 0.23. These results support the premise that in ruminants this ratio is more affected by genetic factors than by dietary *n*-3 source (Raes, De Smet and Demeyer, 2004).

The feeding system had an effect on both C18:2*n*-6/C18:3*n*-3 ($p<0.001$) and *n*-6/*n*-3 ratios ($p<0.001$). Grazing lambs (GR and GR+S) presented the lowest ratios, DRL-GRE presented intermediate ratios and DRL the highest ratios, in agreement with Enser *et al.* (1998) and Santos-Silva *et al.* (2002). The differences observed between DRL-GRE and DRL treatments may be due to the diet that ewes received during the suckling period, which affects the ewes' FA milk composition (Cañeque *et al.*, 2001, Joy *et al.*, 2008a).

3.3. Sensory evaluation

The feeding system did not affect any sensory characteristics of the meat (Table 3). The effect of feeding systems on sensory characteristic is not clear and results observed in the literature are often contradictory.

The lamb meat tenderness was similar in all of the treatment groups. Summers, Kemp, Ely and Fox (1978) and Kemp *et al.* (1981) did not detect significant differences when comparing animals fed grass, concentrate or both. In contrast, Paul, Torten and Spurlock (1964) found slight differences between animals finished on concentrate or grass, the first presenting higher values of meat tenderness. The different results regarding tenderness

may be due to many factors influencing this attribute. Energy and protein intake can have an effect. Solomon, Lynch and Berry (1986), and Solomon, Berry, Fluharty and McClure (1996) found that meat from lambs reared on a low-energy diet was more tender than meat from animals reared on a high-level diet. On the contrary, Crouse, Field, Chnat, Ferrel, Smith and Harrison (1978) observed a greater tenderness when animals were concentrate-fed. The protein content in the diet is only important when the differences between diets are significant, showing a positive relation between protein level and tenderness (Kemp, Johnson, Stewart, Ely & Fox, 1976; Fhamy, Bpucher, Poste, Grégoire, Butler and Comeau, 1992). Factors such as the type of forage (Field, Williams, Ferrell, Crouse & Kunsman, 1978, Vipond, Marie & Hunter, 1995, Hopkins & Nicholson, 1999) and weaning (Summers *et al.*, 1978, Sañudo *et al.*, 1998b) did not affect meat tenderness.

Similarly, juiciness is not affected by the feeding system. Neither the energy level of the diet (Crouse *et al.*, 1978, Solomon *et al.*, 1986), nor its protein contents (Kemp *et al.*, 1976, 1981), nor the type of forage (Field *et al.*, 1978, Vipond *et al.*, 1995, Hopkins *et al.*, 1999), nor weaning (Summers *et al.*, 1978, Vipond *et al.*, 1995, Sañudo *et al.* 1998b) had an effect on the juiciness of lamb meat.

Odour and flavour were similar in forage- or concentrate-fed animals (Paul *et al.*, 1964; Solomon *et al.*, 1996). There are evidences that a diet based on pastures promotes slightly stronger odours than maize concentrate diets (Rousset-Akrim, Young & Berdagué, 1997) and the substitution of forage by concentrate reduces the meat flavour intensity (Field *et al.*, 1978; Fisher *et al.*, 2000; Angood, Wood, Nute, Whittington, Hughes & Sheard, 2008). Priolo, Micol, Agabiel, Prache and Dransfield (2002) reported that typical lamb flavour and fatty flavour were more developed in meat from stall lambs, while liver flavour was more developed in grass lambs meat. These results may be due to the higher *n-3* PUFA content found in grass fed lambs, which are more likely to undergo an oxidation process. Regarding flavour acceptability, results were also contradictory. Summers *et al.* (1978) or Kemp *et al.* (1981) pointed out that flavour acceptability was greater in animals supplemented with concentrate than in animals reared only on pasture, although others authors concluded that neither the energy level of the diet (Crouse *et al.*, 1978, Solomon *et al.*, 1986) nor its protein content (Kemp *et al.*, 1976, 1981) affected flavour acceptability.

Finally, and as far as overall liking is concerned, it was demonstrated that neither the energy level of the diet (Crouse *et al.* 1978), nor its protein content (Kemp *et al.*, 1976) nor the species of pasture (Vipond *et al.*, 1995, Hopkins *et al.*, 1999) nor weaning (Sañudo *et*

al., 1998b) affected overall liking. From present results, it can be concluded that from a sensorial point of view, the feeding system did not affect any sensorial characteristics, and thus, grazing systems can be a valid alternative to traditional indoor-feeding systems.

Table 3. Effect of feeding system on attributes of sensory quality in Churra Tensina light lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

	GR	GR+S	DRL-GRE	DRL	SE	Effect
Lamb odour (1-10)	5.8	6.0	6.0	5.6	0.25	NS
Abnormal odour (1-10)	4.2	4.6	3.9	3.9	0.38	NS
Tenderness (1-10)	6.0	6.0	5.7	6.1	0.27	NS
Juiciness (1-10)	5.2	5.1	5.4	5.4	0.29	NS
Lamb flavour (1-10)	6.5	7.0	6.6	6.3	0.25	NS
Fat flavour (1-10)	5.8	6.1	5.6	5.4	0.32	NS
Abnormal flavour (1-10)	4.9	4.8	3.8	4.7	0.38	NS
Overall liking (1-10)	4.4	4.6	5.2	4.6	0.28	NS

NS: no significant; SE: Standard error

3.4. Fatty acid composition to trace the feeding system

In order to determine the ability of FA profile as a tool for the traceability of feeding systems in lambs, a discriminant analysis was carried out (Figure 1). Function 1 accounted for 95.9% of the total variation between feeding systems and was mainly determined by C20:0 ($r = 0.62$) and C18:3 $n-3$ ($r = 0.58$). Function 2 accounted for 4.1% of the variance and was mainly determined by C18:0 ($r = 0.88$).

The distribution of feeding systems along Function 1 was according to the grass intake, indicating that FA were efficient to clearly discriminate between grass and drylot animals. Then, the centroids of grazing lambs (GR, GR+S) were allocated in the right quadrants (with high C20:0 and C18:3 $n-3$ contents) whereas the centroids of drylot lambs (DRL-GRE and DRL) were depicted in the left quadrants (with low C20:0 and C18:3 $n-3$ contents). Several studies have demonstrated that C18:3 $n-3$ allows to classify lambs according to a feeding system using statistical analysis. Arousseau *et al.* (2007a,b) using a principal component analysis found that only C18:3 $n-3$ could distinguish the lambs from pasture and concentrate groups. Using a discriminant analysis Santos-Silva, *et al.* (2002b) could distinguish between these two feeding systems mainly with C18:3 $n-3$, although they did not found clear differences between grazing and grazing supplemented lambs.

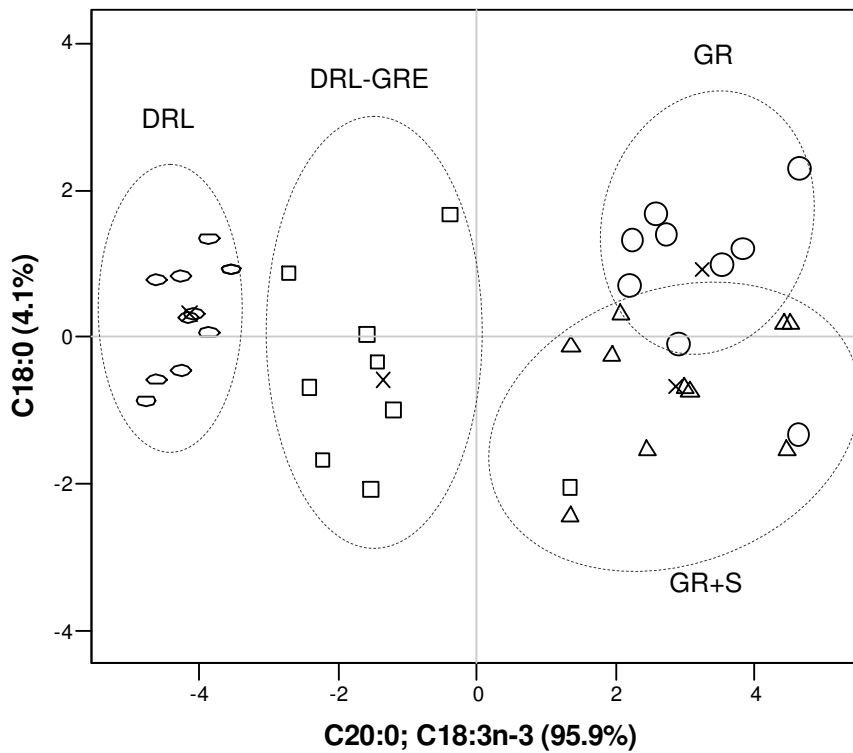


Figure 1. Discriminant analysis of fatty acids that discriminate light lambs from four feeding systems: lambs reared under grazing (GR), grazing with supplement (GR+S), drylot lambs with rationed grazing-ewes (DRL-GRE) and drylot lambs with ewes fed in confinement (DRL).

Regarding Function 2, and although it accounted only for a 4.1% of variation, it was able to clearly divide the grazing animals into the current feeding systems, since GR centroid was allocated in the upper-right quadrant whereas the GR+S centroid was depicted in the bottom-right quadrant. As it has been already said, the GR and GR+S animals differed significantly on C18:0 content. On the contrary, it can be seen that in the drylot groups axis 2 was not able to clearly separate animals from each group, since animals from both groups were indistinctly drawn in the up-left or in bottom-left quadrant, perhaps because DRL-GRE and DRL lambs did not differ in C18:0 content. Hence, three fatty acids, C20:0, C18:3 and C18:0, allow to clearly distinguish between feeding systems.

Table 4 shows the proportion of lambs that were correctly classified into their current groups. Some lambs from GR and GR+S were interchanged, and some DRL-GRE lambs

were allocated to the DRL and GR+S groups. Lambs belonging to GR, GR+S, DRL-GRE and DRL were classified correctly in 77.8, 80.0, 77.8 and 100% of the cases, respectively. In conclusion, 83.9% of the lambs were correctly allocated to the corresponding feeding system. The present results open a new perspective on the traceability of meat origin and deserve more attention.

Table 4. Proportions of animals classified correctly into their current groups according to a discriminant function based on fatty acids profile.

TREATMENT		Predicted			
		GR	GR+S	DRL-GRE	DRL
Original	GR	77,8	22,2	-	-
	GR+S	20,0	80,0	-	-
	DRL-GRE	-	11,1	77,8	11,1
	DRL	-	-	-	100,0

4. Conclusions

The feeding system affected both the chemical composition and the fatty acid profile of meat, but did not affect its sensory attributes. The fatty acid profile of grazing lambs is more favourable to human health than that of drylot lambs, mainly due to the higher *n*-3PUFA (C18:3*n*-3, C20:5, C22:6) and lower C18:2 *n*-6/C18:3 *n*-3 and *n*-6/*n*-3 ratios. When comparing the two groups of drylot lambs, it was observed that the diet of ewes during the lactation period affected the FA composition of light lambs meat.

No differences were found between treatments in any of the sensorial attributes. As a result, grazing systems may be considered a valid alternative to traditional indoor-feeding systems.

Discriminant analysis was able to classify the different feeding systems according to the FA profile. The high percentage of lambs that were correctly allocated suggests that the study of the FA profile can be efficiently used as a tool to trace the feeding systems of lambs. This potential application of FA profiles can be of great interest, considering consumers' growing concern about food origin and safety.

V. CONSIDERACIONES FINALES E IMPLICACIONES

CONSIDERACIONES FINALES

En Aragón, el sistema comúnmente utilizado para la producción de carne de cordero de la categoría comercial Ternasco es un sistema de producción intensivo, que ha ido alcanzando altos niveles de eficiencia técnico-económica dando como resultado final productos homogéneos y de alta calidad, pero desvinculando totalmente al rumiante de sus condiciones “naturales” de producción, el pastoreo.

La fragilidad de este sistema reside en la variabilidad del precio de los piensos a consecuencia de la fluctuación del coste de los cereales, lo cual está generando incertidumbre y preocupación en el sector. Además, actualmente hay un deseo por parte del consumidor de vivir de forma más acorde con el medio natural, sin divorcio entre el hombre y la naturaleza. En respuesta a esta situación se están estudiando posibles alternativas que permitan recuperar y fortalecer el sector. La alternativa más viable es la introducción de cierto grado de extensificación en la producción. Con ello se conseguiría una reducción en los costes de producción y la generación del producto demandado por las nuevas tendencias del mercado: seguro, saludable, ligado a la tierra y obtenido en condiciones respetuosas con el medio ambiente. Además, dicha alternativa puede ser una herramienta útil en la fijación de población en zonas rurales y, consecuentemente, se traduciría en una actividad sostenible en el tiempo.

En la presente tesis se ha analizado el efecto de cuatro sistemas de alimentación (en adelante sistemas), con diferente gradiente de extensificación, en el proceso productivo de corderos ligeros de raza Churra Tensina, en condiciones de montaña en primavera. Dos de los sistemas estudiados fueron sistemas extensivos sin destete hasta el sacrificio y uno de ellos contempla la suplementación de los corderos. Los otros dos fueron sistemas intensivos con destete a los 45 días de edad; en uno de ellos las madres estuvieron en pastoreo durante 8 horas al día, mientras que en el segundo las madres y corderos permanecieron siempre estabulados.

Los crecimientos de los corderos que recibieron concentrado siempre fue elevado (superior a 282 ± 8.8 g/d) independientemente de si estaban o no estabulados. Sin embargo el crecimiento medio de los corderos en extensivo sin suplementación fue ligeramente inferior (261 ± 8.8 g/día). Estas ganancias medias diarias fueron superiores a las encontradas en corderos ligeros de raza Talaverana (Díaz *et al.*, 2002 y Cañeque *et al.*, 2003) y raza Merino-Branço (Santos Silva *et al.*, 2002a). La raza, el tipo de pasto y su valor nutritivo, el año y el sistema de manejo son factores importantes que influyen en la

ganancia media diaria. En los sistemas extensivos, el consumo de hierba implica una menor ingestión de energía lo cual permite una menor tasa de crecimiento y una limitada deposición grasa (McClure *et al.*, 1995). Sin embargo, en el presente estudio, dicha limitación pudo contrarrestarse con una producción de leche suficiente para permitir el crecimiento medio-alto de los corderos, tal como observaron Joy *et al.* (2008a) en un ensayo en el que se comparaba la producción lechera de las ovejas en función del sistema de alimentación.

Los mayores crecimientos de los sistemas con concentrado acortaron la edad al sacrificio de los corderos, ya que el criterio de sacrificio fue el peso vivo. El pastoreo sin suplementación, a pesar de las menores tasas de crecimiento y mayor edad al sacrificio, permitió producir corderos en el periodo que exige la categoría Ternasco (<90 días).

En el sistema de pastoreo con suplementación se registró una menor ingestión de concentrado durante el periodo experimental (6.9 kg) que en los sistemas en estabulación (39.3 y 35.0 kg, para el sistema estabulado con madres en pastoreo y el estabulado completo, respectivamente). Dicha menor ingestión de pienso está de acuerdo con la reducción de costes propuesta por Zervas *et al.* (1999) cuando se registra una utilización de recursos naturales, como es el pastoreo.

Las canales procedentes del sistema extensivo sin suplemento presentaron un menor rendimiento de la canal (Olleta *et al.*, 1992a; Santos-Silva *et al.*, 2002a; Borton *et al.*, 2005a; Joy *et al.*, 2008a), y fueron clasificadas con una conformación y un grado de engrasamiento ligeramente inferior a las canales procedentes de los restantes sistemas (O y 2- vs O+/R y 2+/3 en los sistemas con suplementación). Sin embargo, siempre estuvieron clasificadas dentro de los rangos de la categoría comercial Ternasco. La menor disponibilidad energética de los animales en pastoreo sin suplementación (Ely *et al.*, 1979; Olleta *et al.*, 1992a; Murphy *et al.*, 1994; McClure *et al.*, 1995; Priolo *et al.*, 2002) y su mayor proporción de tracto digestivo (Fluharty *et al.*, 1999; Borton *et al.*, 2005a; Joy *et al.*, 2008b) son responsable de dichos resultados.

El sistema no tuvo efecto ni en la clasificación subjetiva del color de la grasa ni en la de la carne lo que pudo ser debido al escaso tiempo transcurrido entre el inicio del pastoreo y el sacrificio, lo que no permitió almacenar importantes cantidades de carotenos en grasa (Prache and Theriez, 1999; Priolo *et al.*, 2002). Estos resultados permiten prever que no habría un rechazo por parte del consumidor hacia las carnes de corderos ligeros procedentes de pastoreo.

A pesar de no observar un efecto significativo del sistema sobre el color subjetivo, sí se observó un efecto del sistema sobre la valoración instrumental del color. Así, las canales de corderos de ambos sistemas de pastoreo presentaron una grasa subcutánea más amarillenta (mayor índice de b^*) y una carne más roja (mayor índice de a^*) que las canales de los corderos estabulados (Carrasco *et al.*, 2008c). Los carotenos presentes en la hierba y acumulados en el tejido adiposo de los corderos de pastoreo son los responsables de esa coloración amarillenta (Priolo *et al.*, 2002). La alta concentración de mioglobina en los músculos de los corderos de pastoreo, es responsable de la mayor intensidad de rojo en la carne (Renner, 1987; Vestergaard *et al.*, 2000). Dichas diferencias instrumentales observadas entre ambos grupos de sistemas son útiles como técnicas de trazabilidad para diferenciar con suficiente fiabilidad los sistemas de alimentación a los cuales han sido sometidos los animales (Prache *et al.*, 1999, 2005; Ripoll *et al.*, 2008a).

Los dos sistemas intensivos y el grupo de pastoreo suplementado, presentaron una cantidad total de grasa mayor que la observada en el sistema más extensivo. Al estudiar la distribución de esta grasa a través de los depósitos grasos, se ha observado que los dos grupos en pastoreo tuvieron mayor proporción de grasa intermuscular que los grupos de intensivo, mientras que el grupo de pastoreo sin suplementación tuvo menor proporción de grasa subcutánea que el resto, en respuesta al grado de desarrollo de estos depósitos y a la disponibilidad de energía en sus raciones (Murphy *et al.*, 1994a; McClure *et al.*, 1995). Por otro lado el grupo de pastoreo sin suplementación, en razón del mayor desarrollo del tracto digestivo (Olleta *et al.*, 1992a; Joy *et al.*, 2008b) presentó una mayor proporción de grasa mesentérica (Carrasco *et al.*, 2008b).

La menor cantidad de grasa en las canales del sistema de pastoreo sin suplementación estuvo unida a una mayor proporción de músculo, lo que es debido a la distinta velocidad de desarrollo de los tejidos (Hammond, 1935; Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2008). La menor ingestión energética en el tratamiento en pastoreo permitió una escasa deposición adiposa.

Conocer la composición tisular de las canales es importante debido a que determina el valor económico de la canal. Por ello hay un gran interés en estudiar distintos métodos de predicción que permitan conocer dicha composición. Muchos factores, tales como la raza, sexo y edad pueden afectar a la composición tisular (Hopkins y Floharty, 1998; Safari *et al.*, 2001), por lo que es importante utilizar ecuaciones de predicción elaboradas a partir

de un grupo de animales semejante al que se está estudiando (Kempster *et al.*, 1981). Uno de los métodos más utilizados es la disección de alguna pieza de la canal, siendo la pierna y el costillar las piezas más fiables para esta predicción. Sin embargo, en contraposición a la disección, existe un gran interés en la búsqueda de métodos de predicción no destructivos. Las medidas objetivas y subjetivas de la canal, fácilmente obtenibles en matadero, han demostrado ser bastante fiables. Este método tiene la ventaja adicional de tener un menor coste que la disección. Se pueden obtener buenas ecuaciones de predicción utilizando un número relativamente pequeño de medidas: estado de conformación, peso de la canal fría, peso de canal caliente, peso de la pierna, peso de la grasa del canal pélvico-renal y tres medidas zoométricas de la canal (Wr, L y F).

La calidad de la carne puede verse afectada por el estrés que el animal sufre previo al sacrificio. En el presente estudio, se ha observado que el nivel de estrés alcanzado por los corderos en cualquiera de los sistemas no fue suficientemente intenso como para alterar la calidad de la carne (Díaz *et al.*, 2002). A pesar de ello, sí se observó un efecto del sistema de alimentación sobre los niveles de cortisol plasmático en el momento antes del transporte (involucra toda la práctica de manejo) correspondiendo los niveles más elevados a los dos grupos de pastoreo. Esto podría atribuirse a la poca costumbre de este grupo de animales a la presencia del hombre, a las prácticas de manejo (Goddart *et al.*, 2000; Van de Water *et al.*, 2003; Ali *et al.*, 2006) y a la separación de sus madres (Napolitano *et al.*, 2002). Los corderos de pastoreo sin suplementación mantuvieron similares niveles de cortisol antes del transporte, después del transporte y en el desangrado, mientras que el resto de sistemas presentaron mayor concentración de cortisol plasmático en los dos últimos momentos de muestreo. Lo cual nos lleva a concluir que el factor estresante para los corderos de pastoreo fueron las prácticas de manejo y para todos los grupos el transporte.

El presente estudio ha demostrado que la carne de los animales en pastoreo presenta un color más intenso tanto al ser valorado en la canal (*M. Rectus abdominis*) como en el momento del corte del *M. Longissimus thoracis* (mayor a^* y C^* y menor H^a), pero que tras el periodo de oxigenación evaluado (3 y 6 días) en muestras del *M. Longissimus thoracis* estas diferencias desaparecen. La principal causa del deterioro de calidad de la carne durante su exposición a la venta es la pérdida del color (Feldhusen *et al.*, 1995), así durante los periodos de almacenamiento se observaron variaciones en los parámetros del color, lo cual fue debido al fenómeno normal de oxidación de la mioglobina y de los

lípidos (Buckley *et al.*, 1995). Sin embargo la velocidad de oxidación depende mucho de la presencia o no de antioxidantes (Boles *et al.*, 2005; Resconi, 2007) y de la composición de la grasa; si bien los animales de pastoreo presentan un color de carne más intenso a causa de la mayor concentración de pigmentos, por lo que se esperaba una mayor degradación del color y marcadas diferencias respecto a los sistemas intensivos, lo cual no ocurrió debido a la presencia de antioxidantes que limitaron el proceso de degradación.

En cuanto a la textura instrumental de la carne, los dos parámetros evaluados (dureza y el máximo estrés) se vieron afectados por el sistema de alimentación, pero sólo el día 4 *post mortem*, mostrando mayor ternura la carne de los corderos de pastoreo. Sin embargo estas diferencias desaparecen a los 7 días de maduración. Este fenómeno es propio del proceso de maduración de la carne (Warris *et al.*, 1990, Crouse *et al.*, 1991, Koohmaraie *et al.*, 1994, Martínez-Cerezo *et al.*, 2005). El efecto de la dieta sobre la dureza de la carne no está claro en la bibliografía. Algunos estudios argumentan que una menor dureza se corresponde con dietas a base de concentrado, lo cual está relacionado con el mayor contenido de grasa intramuscular (Kemp *et al.*, 1981; Mitchell *et al.*, 1991; Angood *et al.*, 2008), otros autores encontraron menor dureza en animales de pastoreo (Santos-Silva *et al.*, 2002; Ripoll *et al.*, 2005) y otros no encontraron diferencias entre ambos sistemas de producción (French *et al.*, 2001; Cerdeño *et al.*, 2006).

Cuando se estudió la composición química de la carne, no se observaron diferencias notables en la cantidad de grasa intramuscular, lo que pudo ser consecuencia de que la grasa intramuscular es un depósito tardío (el último depósito graso; Lawrie, 1991), y por tanto no haya tenido suficiente tiempo para desarrollarse debido a la corta edad de sacrificio de los animales.

En cuanto a la textura instrumental de la carne, los dos parámetros evaluados (dureza y máximo estrés) se vieron afectados por el sistema, pero sólo el día 4 *post mortem*, mostrando mayor ternura la carne de los corderos de pastoreo. Sin embargo estas diferencias desaparecen a los 7 días de maduración. Este fenómeno es propio del proceso de maduración de la carne (Warris *et al.*, 1990, Crouse *et al.*, 1991, Koohmaraie *et al.*, 1994, Martínez-Cerezo *et al.*, 2005). El efecto de la dieta sobre la dureza de la carne no está claro en la bibliografía. Algunos estudios argumentan que una menor dureza se corresponde con dietas a base de concentrado, lo cual está relacionado con el mayor contenido de grasa intramuscular (Kemp *et al.*, 1981; Mitchell *et al.*, 1991; Angood

et al., 2008), otros autores encuentran menor dureza en animales de pastoreo (Santos-Silva *et al.*, 2002; Ripoll *et al.*, 2005) y otros no encuentran diferencias entre sistemas de producción (French *et al.*, 2001; Cerdeño *et al.*, 2006).

En el presente estudio no se observaron diferencias notables para el contenido de grasa intramuscular, quizá porque la grasa intramuscular es un depósito tardío (el último depósito graso; Lawrie, 1991), y por tanto es posible que no haya tenido suficiente tiempo para desarrollarse completamente debido a la corta edad de los animales. Las diferencias más marcadas se pudieron ver a nivel de contenido de humedad y proteína, mostrando la carne de los corderos de pastoreo mayor contenido de humedad y proteína.

Cuando se evaluó el perfil de ácidos grasos de la carne, se observó que los animales de pastoreo (GR, GR+S) presentaron menor proporción de ácido palmítico (C16:0), mayor proporción de ácido esteárico (C 18:0) y menor índice C18:2n-6/C18:3n-3 y n-6/n-3, lo que se liga al concepto de carne más saludable. El ácido palmítico (C16:0) es considerado como aterogénico y poco saludable por su tendencia a incrementar los niveles de colesterol en la sangre (Vorster *et al.*, 2001; Grundy *et al.*, 1987). La presencia de ácido esteárico (C18:0) en mayor proporción en GR es consecuencia del tipo de alimentación a base de pastos, no encontrándose diferencias entre los grupos que consumieron concentrado, en pastoreo o estabulado. El ácido esteárico (C18:0) se considera menos insaludable que otros ácidos grasos saturados, pues presenta menor probabilidad de ser incorporado en los ésteres de colesterol (Emken, 1994). Por otra parte, está bien documentado que los animales en pastoreo presentan mayores niveles tanto de ácido linolénico (C18:3n-3) (Prache *et al.*, 1999; Enser and Wood, 1995; Fisher *et al.*, 2000) como de ácido araquídico (C20:0), que es producto de la hidrogenación anaeróbica en el rumen de los ácidos grasos insaturados presentes en los vegetales (Raes *et al.*, 2004). Es importante señalar que el sistema en el cual los corderos están estabulados y las madres salen a pastorear 8-10h/día permite mantener los ácidos grasos poliinsaturados propios de la alimentación de la madres en la carne de los corderos incluso alrededor de 30 días después del destete, aunque en menores proporciones que en los corderos no destetados.

Con la finalidad de diferenciar entre los sistemas de alimentación estudiados, se utilizó el perfil de ácidos grasos a través de un análisis discriminante. Se encontró que es posible discriminar entre los corderos de pastoreo y los corderos de intensivo, en función de la cantidad de ácido linolénico (C18:3n-3) y araquídico (C20:0). Estos dos ácidos grasos

están correlacionados positivamente entre sí y negativamente con el ácido linoleico (C18:2), el cual es abundante en la carne de los animales alimentados a base de concentrado (Enser y Wood, 1995; Fisher *et al.*, 2000; Oriani *et al.*, 2005). Además fue posible discriminar dentro de cada grupo a través del contenido de ácido esteárico (C18:0) en la carne de estos animales. Por tanto, el perfil de ácidos grasos puede ser utilizado como una herramienta de trazabilidad.

El sistema de alimentación no afectó a ningún atributo sensorial. El efecto de la alimentación sobre las características sensoriales de la carne no está completamente elucidado y los resultados de diferentes estudios son muchas veces contradictorios entre sí. La mayoría de los autores consideran que el nivel de energía de la dieta tiene efecto sobre las características sensoriales de la carne, pero mientras algunos autores consideran que las dietas a base de concentrado mejoran la ternura y el flavor (Crouse *et al.*, 1978; Summers *et al.*, 1978; Kemp *et al.*, 1981), otros autores concluyen justamente lo contrario, es decir, que los animales producidos en sistemas de pastoreo presentan mayor calidad sensorial (Solomon *et al.*, 1986, 1996). El contenido en proteína de la dieta parece ser importante sólo en el caso de que las diferencias entre dietas sean importantes, encontrándose por lo general una relación positiva entre el nivel de proteína de la dieta y la ternura de la carne (Kemp *et al.*, 1976; Fhamy *et al.*, 1992). Otros factores, como el tipo de pasto (Field *et al.*, 1978, Vipond *et al.*, 1995, Hopkins y Nicholson, 1999) o el destete (Summers *et al.*, 1978, Sañudo *et al.*, 1998b) no afectan significativamente a las características sensoriales de la dieta.

En resumen, en condiciones de primavera, el pastoreo suplementado sin destete de corderos ligeros, es una alternativa viable técnicamente. Es capaz de proveer al mercado de un producto con similares características de calidad de canal y de carne que el producto convencional. Las canales de estos animales presentan ciertas peculiaridades en cuanto a color de grasa y carne que casi no son detectables visualmente, por lo que no es esperable que produzcan rechazo en el consumidor. Sin embargo, sí son detectables mediante técnicas instrumentales, por lo que podrían ser útiles como herramientas de trazabilidad. La carne de estos corderos cuenta con la ventaja adicional de presentar un perfil de ácidos grasos saludable.

IMPLICACIONES

Dado que los estándares de calidad y las nuevas tendencias en el mercado los establece principalmente el consumidor y considerando además que existe necesidad de plantear

alternativas al sistema de producción convencional de carne de cordero ligero, creemos que la alternativa de extensificar presenta evidencias de viabilidad suficientes para satisfacer ambos requisitos. El pastoreo sin destete y con suplementación es una de las alternativas más viables, ya que los resultados del estudio han dejado claro que no existen diferencias ni en el crecimiento de los corderos, ni en la calidad de la canal y la carne. Desde el punto de vista nutricional, además presenta la ventaja adicional de tener un perfil en ácidos grasos más favorable para la salud humana. El pastoreo sin destete y sin suplementación da lugar a canales con menor proporción de grasa, las cuales podrían responder a las nuevas exigencias del mercado: carne más magra. Desde el punto de vista sensorial no hubo diferencias entre los sistemas de producción intensivos convencionales, tanto el estabulado como el estabulado con las madres en pastoreo, y los sistemas extensivos, con o sin suplementación.

Por ello, si la explotación ovina dispone de infraestructura para el pastoreo es recomendable la máxima utilización de sus superficies pastables, ya que ello no conlleva ningún efecto negativo sobre el producto final, que es la canal y la carne. La utilización de estos sistemas extensivos también permite la producción de carne diferenciada y esta diferencia puede ser certificada a partir de las modificaciones observadas a nivel instrumental, especialmente el índice de amarillo de la grasa y el perfil de ácidos grasos.

VI. CONCLUSIONES

1.- La suplementación con concentrado afectó a la ganancia media diaria de los corderos. Los corderos que recibieron suplementación presentaron mayor velocidad de crecimiento que aquellos que no recibieron suplementación. Sin embargo, la menor tasa de crecimiento de los corderos de pastoreo sin suplementación no fue limitante para alcanzar en el tiempo requerido el peso al sacrificio recomendable para corderos de la categoría comercial Ternasco

2.- Al evaluar el nivel cortisol en sangre como indicador del estrés de los corderos en tres momentos al final del ciclo productivo (antes del transporte, después del transporte y en el desangrado), se comprobó que el transporte fue el factor que provocó mayores niveles de cortisol en sangre. El sistema de alimentación afectó al nivel de cortisol de los corderos sólo en el momento antes del transporte, mostrando los corderos de pastoreo, con y sin suplementación, los niveles más elevados de cortisol. Los corderos en pastoreo sin suplementación mantuvieron similares niveles de cortisol durante todo el periodo estudiado.

3.- Los corderos de pastoreo sin suplementación presentaron menores rendimientos a la canal y un menor grado de engrasamiento, especialmente en el depósito subcutáneo, lo que se vio reflejado en el espesor de grasa dorsal. La suplementación en pastoreo mejoró el rendimiento de canal y permitió mayores espesores de grasa subcutánea y un mayor grado de engrasamiento, con valores similares a los observados en las canales de los sistemas intensivos.

4.- Algunas características de calidad de la canal valoradas subjetivamente, como la consistencia de la grasa, el color de la grasa subcutánea y el color del músculo *Rectus abdominis* no se vieron afectadas significativamente por el sistema de alimentación. La grasa de todas las canales se calificó como dura y blanca y la coloración del músculo *Rectus abdominis* como rosa. Sin embargo, la valoración objetiva tanto del color de la grasa subcutánea como del color del M. *Rectus abdominis* mostró diferencias entre sistemas de alimentación. Los dos grupos de pastoreo presentaron mayor índice de amarillo para el color de la grasa subcutánea y mayor índice de rojo para el M. *Rectus abdominis* que los grupos de intensivo.

5.- Tanto el M. *Rectus abdominis* como el M. *Longissimus thoracis* presentaron mayores índices de rojo en los dos grupos de pastoreo que en los dos estabulados. Se observó una correlación clara entre el color de ambos músculos para el índice de rojo. Por ello, puede emplearse el color del M. *Rectus abdominis*, como indicador del color general de la

carne, teniendo la ventaja de ser un método no destructivo que puede aplicarse en matadero.

6.- Tanto el sistema de producción como el tiempo de oxigenación afectaron al color del *M. Longissimus thoracis*, siendo más importante el efecto del tiempo de oxigenación de la carne que el de la alimentación. En general, en los cuatro sistemas estudiados existe un ligero aumento de todos los parámetros desde el día 0 hasta el día 3, manteniéndose los valores constantes a partir de entonces.

7.- Tanto el sistema de producción como la maduración afectaron a la textura de la carne, siendo más importante el efecto de la maduración que el de la alimentación. A los 4 días de maduración, la carne de los animales de pastoreo con o sin suplementación, fue más tierna que la carne de los dos sistemas de intensivo, pero a los 7 días de maduración estas diferencias habían desaparecido.

8.- En cuanto a la composición tisular de la canal, los corderos de pastoreo sin suplementación presentaron una mayor proporción de músculo y hueso a costa de una menor proporción de grasa total, principalmente subcutánea e intermuscular. Ello conllevó a un mayor índice músculo:grasa y menores índices músculo:hueso y grasa subcutánea:grasa intermuscular en sus canales. Sin embargo la proporción de las categorías comerciales, primera, segunda y tercera, fueron similares en los cuatro tratamientos.

9.- Las ecuaciones de predicción de la composición tisular de la canal en kilogramos, presentaron mejor precisión que las de porcentaje. Las piezas con mejores valores predictivos presentaron fueron la pierna, el costillar y la espalda. Las medidas objetivas y subjetivas de la canal presentaron un buen valor predictivo tanto para el músculo como para la grasa.

10.- El perfil de ácidos grasos de las canales de ambos tratamientos de pastoreo se caracterizó por una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados del tipo $n-3$, menor proporción de C16:0 y menores índices C18:2 $n-6$ /C18:3 $n-3$ y $n-6/n-3$, por lo que fue más saludable que el perfil observado en los corderos estabulados. Las diferencias observadas entre los dos tratamientos estabulados fueron debidas a la alimentación que recibió la madre durante la fase de lactación. Las canales procedentes del sistema estabulado con las madres en pastoreo 8 horas al día presentaron unos niveles de ácidos grasos poliinsaturados del tipo $n-3$ superiores a los observados en el tratamiento

intensivo (corderos y madres siempre estabulados) e inferior a los observados en los dos tratamientos en pastoreo.

11.-No existió efecto del sistema de alimentación estudiados sobre los atributos sensoriales de la carne. Por lo tanto, en corderos ligeros, y atendiendo a la calidad sensorial de la carne, la inclusión de forraje en la dieta de los corderos es una alternativa viable .

12.- El índice de amarillo del color de la grasa subcutánea y el perfil de ácidos grasos son dos medidas que pueden ser utilizadas para llevar a cabo la trazabilidad del sistema de alimentación.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aalhus, J.L., Price, M.A., Shand, P.J., Hawrysh, Z.J., 1991. Endurance-exercised growing sheep. II. Tenderness increase and change in meat quality. *Meat Sci.* 29, 57-68.
- Alam, M.G.S., Dobson, H., Fitzpatrick, R.J., 1986. Endocrine response to different doses of ACTH in cows. *Brit. Vet. J.* 142, 239-245.
- Albertí, P., Ripoll, G., Casasús, I., Blanco, M., Chapullé, J.L., Santamaría, J., 2005. Efecto de la inclusión de antioxidantes en dietas de acabado sobre la calidad de la carne de terneros. *ITEA*, 101, 91-100.
- Albertí, P., Sañudo, C., Lahoz, F., Jaime, J., Y Tena, T., 1988. Características de la canal y de la carne de terneros cebados con dietas forrajeras y suplementadas con distinta cantidad de pienso. In *ITEA*. 76, 3-14.
- Alfonso, J., Thompsom, J.M., 1996. Changes in body composition of sheep selected for high and low backfat thickness during periods of *ad libitum* and maintenance feeding. *Anim. Sci.* 63, 395-406.
- Ali, B.H., Al-Qarawi, A.A., Mousa, H.M., 2006. Stress associated with road transportation in desert sheep and goats, and the effect of pre-treatment with xylazine or sodium betaine. *Research Vet. Sci.* 80, 343-348.
- Allen, C.E., Foegeding, E.A., 1981. Some lipid characteristics and interaction in muscle foods. A review. *Food Technol.*, 35, 253-257.
- Allen, P., 1990. New approaches to measuring body composition in live meat animals. In: Wood, J.D., Fisher, A.V. (Eds.), *Reducing fat in meat animals*. Elsevier, London, UK, pp 201-247.
- Álvarez-Rodríguez, J., 2005. Extensificación ovina en zonas de montaña: estrategias de manejo durante la lactación de ovejas Churra Tensina con parto en primavera. Proyecto fin de Carrera. Universidad de Lleida.
- Álvarez-Rodríguez, J., Sanz A., Joy M., Carrasco S., Ripoll G., Teixeira A., 2008. Development of organs and tissues in lambs raised on Spanish mountain grassland. *Canadian J. Anim. Sci.* In review.
- Álvarez-Rodríguez, J., Sanz, A., Delfa, R., Revilla, R., Joy, M., 2007. Performance and grazing behaviour of Churra Tensina sheep stocked under different management systems during lactation on Spanish mountain pastures. *Livest. Sci.* 107, 152-161.
- Angood, K.M., Wood, J.D., Nute, G.R., Whittington, F.M., Hughes, S.I., Sheard, P.R., 2008. A comparison of organic and conventionally-produced lamb purchased from three major UK supermarkets: Price, eating quality and fatty acid composition *Meat Sci.* 78, 176–184.
- Anonymous. 1993. Some factors affecting fat colour in beef. *Meat Research –Newsletter 1993/4*. CSIRO Division of Food Processing. Meat Research Laboratory, Brisbane, Australia
- Anonymous. 1999. *Bord Bia Meat News*. Bord Bia (Irish Food Board), Clanwilliam Crt., Lower Mount St., Dublin, Ireland.
- AOAC, 1999. Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of Analysis*, 16th edition. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Aparicio, F., Doménech, V., Tovar, J., Peña, F., 1986. Composición tisular y relaciones entre los tejidos de canales de cordero de raza Merina española. In 2ª conferencia mundial del Merino, 85-93. Madrid.
- Arousseau, B., Bauchar, D., Calichon, E., Micol, D., Priolo, A. 2004. Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and their fatty acids in the *Longissimus thoracis* of lambs. *Meat Sci.* 676, 531-541.

- Aurousseau, B., Bauchar, D., Faure, X., Galot, A.L., Prache, S., Micol, D., Priolo, A. 2007a. Indoor fattening of lambs raised on pasture: (1) Influence of stall finishing duration on lipid classes and fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle. *Meat Sci.* 76, 241-252.
- Aurousseau, B., Bauchar, D., Galot, A.L., Prache, S., Micol, D., Priolo, A. 2007b. Indoor fattening of lambs raised on pasture: (2) Influence of stall finishing duration on triglyceride and phospholipid fatty acids in the *Longissimus thoracis* muscle. *Meat Sci.* 76, 417-427.
- Aurousseau B., Vigneron P., 1985. Influence du mode d'élevage et du poids d'abattage sur les caractéristiques des lipides musculaires de l'agneau de boucherie. *Reprod. Nutr. Dév.* 26. 351-352.
- Bailey, A.J., Euser, M.B., Dransfield, E., Restall, D.J., Arery, N.C., 1982. En: Muscle hipertrophy of genetic origin and its use to improve beef production. In (ed M.F.M.N. J.W.B. King), pp. 178-202, The Hague.
- Barnard, R.J., Edgerton, V.R., Y Peter, J.B., 1970. Effect of exercise on skeletal muscle biochemical and histochemical properties. *J. Appl. Physiol.* 28, 762.
- Barton-Gade, P.A., 1981. The measurement of meat quality in pigs *post mortem*. In *Porcine stress and meat quality-causes and possible solutions to the problems.* (eds T.Froystein, E. Slinde y N. Standal), pp. 205. Agricultural Food Research Society.
- Bas, P., Morand-Fehr, P., 2000. Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposits. *Liv. Prod. Sci.* 64, 61-79.
- Berg, IL T, Butterfield, R. M., 1976. *New Concepts of Cattle Growth.* University of Sydney Press, Sydney. Australia.
- Beriain, M.Z., Lizaso, G., 1997. Calidad de la carne de vacuno. En "Vacuno de carne: aspectos claves". Buxadé C. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 493-510
- Bernués A., Casasús I., Sanz A., Revilla R., 2002. Mejora de la extensificación del ovino en zonas de montaña. *Europa Agraria* 109, Aragón 11-14.
- Bianchi, G., Garibotto, G., Van Lier, E., Franco, J., Feed, O., Peculio, A., Bentancur, O., Courdin, V., Fernandez, M.E., 2004. Efecto del transporte y tiempo de espera en frigorífico sobre los niveles de cortisol plasmático, características de la canal y de la carne de corderos pesados. *Agrociencia.* Vol VIII .2, 89-98.
- Blackburn, H.D., Snowden, G.D., Glimp, H., 1991. Simulation of lean lamb production systems. *J. Anim. Sci.* 69, 115-124.
- Blokhuis, H.J., Jones, R.B., Geers, R., Miele, M., Veissier, I., 2003. Measuring and monitoring animal welfare: transparency in the food product quality chain. *J Appl Anim Welf Sci.* 12, 445-455.
- Blumer, T.N., 1963. Relationship of marbling to the palatability of beef. *J. Anim. Sci.* 22, 771.
- Boccard R., Dumont, B., Lefebvre, J., 1962. Etude de la production de la viande chez les ovins. V. Note sur la croissance relative es régions corporales. *Ann. Zootech.* 11, 257.
- Boccard, R., Dumont, B.L., 1955. Étude de la production de la viande chez les ovins. I.La coupe des carcasses. Définition d'une découpe de référence. *Anim. Zootech.*, 12, 227-230.
- Boccard, R., Dumont, B.L., 1976. La qualité des carcasses ovines. 2emes Journées de la Recherche Ovine et Caprine., 38.
- Boccard, R., Dumont, B.L., Peyron, C., 1958. Valeur significative de quelques mensurations pour apprécier la qualité des carcasses d'agneaux. In 4th. Meet. Europ. Meat Research Workers Camb. pp. 15.

- Boccard, R., Dumont, B.L., y Peyron, C., 1964. Étude de la production de la viande chez les ovins. VIII. Relations entre les dimensions de la carcasse d'agneau. *Ann. Zootech.* 13, 367-378.
- Boccard, R., Duplan, J.M., 1961. Étude de la production de la viande chez les ovins. III. Note sur l'influence de la Vitesse de croissance sur la composition corporelle des agneaux. *Ann. Zootech.* 10, 31-38.
- Body, D.R., 1988. The lipid composition of adipose tissue. *Prog. Lipid Res.*, 27, 39-60.
- BOE, 2006. Reglamento de la Indicación Geográfica Protegida "Ternasco de Aragón". N° 200, del 22 de Agosto.
- Bonanone, A. Grundy, S.M., 1987. Stearic acid does not raise serum cholesterol. *Clin. Res.*, 35, 365-369.
- Borton, R. J. Loerch, S. C. McClure, K. E., Wulf, D. M., 2005b. Characteristics of lambs fed concentrates or grazed on ryegrass to traditional or heavy slaughter weights. II. Wholesale cuts and tissue accretion. *J Anim Sci.* 83, 1345-1352.
- Borton, R.J., Loerch, S.C., McClure, K.E., Wulf, D.M. 2005a. Comparison of characteristics of lambs fed concentrate or grazed on ryegrass on ryegrass to traditional heavy slaughter weights. I. Production, carcass and organoleptic characteristics. *J. Anim. Sci.* 83, 679-685.
- Botkin, M.P., Field, R.A., Johnson, C.L., 1988. Sheep and Wool: Sci. Production and Management. In (eds Prentice Hall y N.J. Englewood Cliffs).
- Bozzolo, G., Bouillier-Oudot, M., De Boisseson, E., Ghassan, M., Y Grasset, D., 1990. Influence des performances zootechniques sur les caractéristiques des tissus adipeux d'agneaux de bergerie sevrés précocement *et* alimentés avec un régime à forte concentration énergétique. *Ann. Zootech.* 39, 77-94.
- Bradford, G.E. 1999. Contributions of animal agriculture to meeting global human food demand *Livest. Prod. Sci.* 59, 95-112.
- Branscheid, W., Europa como consumidor y productor de carne. Centro Federal de Investigación sobre la carne. SnT.
- Brennand, C. P., Ha, J. K., Lindsay, R. C., 1989. Aroma properties thresholds of some branched-chain and other minor volatile fatty acids occurring in milkfat and meat lipids. *J. Sensory Stud.* 4, 105-120.
- Brewer, M. S., Jensen, J., Prestat, C., Zhu, L. G., Mckeith, F. K., 2002. Visual acceptability and consumer purchase intent of pumped pork loin roasts. *J. Muscle Foods*, 13, 53-68.
- Briskey, E.J. y Bray, R.W., 1964. A special study of the beef grade standards. In American National Cattlemen's Association. (ANCA).
- Broom, D. M., Goode, J. A., Hall, S. J. G., Lloyd, D. M. and Parrott, R. F. 1996. Hormonal and physiological effects of a 15 h road journey in sheep: comparison with the responses to loading, handling and penning in the absence of transport. *Br. Vet. J.* 152, 593-604.
- Bruwer, G., Naude, R., Vosloo, W., 1987 An evaluation of the lamb and mutton carcass grading system in the Republic of South Africa. 3. Fatness score, conformation score and carcass mass as predictors of carcass composition. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 17, 90-94.
- Buckley, D.J., Morrissey, P.A., Gray, J.I., 1995. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *J. Anim. Sci.* 73, 3122-3130.
- Butterfield, R.M., 1988. *New Concepts of Sheep Growth.* Sydney University Press, Sidney. Australia. 168pp.

- Butterfield, R.M., Zamora, J., James, A.M., Thompson, J.M., Reddacliff, K.J., 1983. Changes in body composition relative to weight and maturity in large and small strains of Australian Merino rams. 3. Body organs. *Anim. Prod.* 36, 461-470.
- Byers, F.M., Cross, H.R., Schelling, G.T., 1988. Integrated nutrition, genetic, and growth management program for muscle beef production. In: *Designing foods: Animal Product Options in the Marketplace*. National Academy Press. Washington, DC. 283pp.
- Cañeque V., Díaz M.T., Álvarez I., Lauzurica S., De la Fuente J., 2005. The influences of carcass weight and depot on the fatty acid composition of fats of suckling Manchego lambs. *Meat Sci.* 70, 373-379.
- Cañeque, V., Lauzurica, S., Velasco, S., Ruiz De Huidobro, F., Perez, C., Diaz, M.T., Manzanares, C., Onega, E., 1999. Engorde de corderos de raza Talaverana en pastoreo o aprisco con distintos sistemas de alimentación. I. Efecto sobre la calidad de la canal. In *XXIV Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia*, pp. 433-437, Soria.
- Cañeque, V., Pérez C., Velasco S., Díaz M.T., Lauzurica S., Alvarez, I., Ruiz de Huidobro F., Onega, E., De la Fuente J., 2004. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci.* 67, 595-605.
- Cañeque, V., Ruiz de Huidobro, F., Hernandez, J.A., y Dolz, J.F., 1990. Comparison between four fattening systems for lambs and their effects on carcass quality. In *41st Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, Toulouse (Francia).
- Cañeque, V., Velasco S., Díaz M.T., Ruiz de Huidobro F., Pérez C., Lauzurica S., 2003. Use of whole barley with a protein supplement to fatten lambs under different management systems and its effect on meat and carcass quality. *Anim. Res.* 52, 271-285.
- Caporaso, E., Sink, J.D., Dimick, P.S., Mussinan, C.J., Sauderson, A., 1977. Volatile flavor constituents of ovine adipose tissue. *J. Agric. Food Chem.*, 25, 1230-1233.
- Carpenter, Z. L., 1966. What is consumer-preferred lamb? *J. Anim. Sci.* 24, 1232-1235.
- Carrasco, S., Ripoll, G., Sanz, A., Alvarez-Rodriguez, J., Panea, B., Revilla, R., Joy, M., 2008a. Effect of feeding system on growth and carcass characteristics of Churra Tensina light lambs. *Livest. Prod. Sci.* Doi: 10.1016/j.livsci.2008.05.017.
- Carrasco, S., Panea, B., Ripoll, G., Sanz, A., Alvarez, J., Joy, M., 2008b. Effect of feeding system on the carcass and meat fat depots in Churra Tensina light lambs raised on Spanish dry mountain areas. *Book abst.* 59th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Vilnius-Lithuania, p. 187.
- Carrasco, S., A. Sanz, A., Ripoll, G., Panea, B., Alvarez, J., Joy, M., 2008c. Effect of feeding system on the subjective and instrumental measures of subcutaneous fat colour in Churra Tensina light lambs raised on Spanish dry mountain areas. *Book abst.* 59th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Vilnius-Lithuania. p. 191.
- Casasús, I.; San Juan, L.; Bergua, A.; Olleta, J.L.; Revilla, R. 1994. La oveja Churra Tensina: caracterización productiva y reproductiva. *Actas de la XIX Reunión científica de la SEOC* (Burgos), 401-408.
- Casasús, I.; Choquecallata, J.; Bergua, A.; Sanz, A.; Revilla, R. 1996. Extensificación de la producción ovina: un ejemplo de explotación en zonas de montaña. *Actas de la XXXVI Reunión científica de la SEEP*, 313-317.
- Casasús, I.; Ferrer, R.; Sanz, A.; Villalba, D.; Revilla, R. 1997. Cattle and sheep performance during summer grazing on high mountain ranges in extensive production systems. *EU*

- Workshop "Effect of extensification on animal performance, carcass composition and product quality", Gante (Bélgica), 157-169. Referencias bibliográficas 131.
- Casasús, I.; Sanz, A.; Villalba, D.; Ferrer, R.; Revilla, R. 2002. Factors affecting animal performance during the grazing season in a mountain cattle production system. *J. Anim. Sci.* 80, 1638-1651.
- Casey, N.H., Van Niekerk, W. A., Spreeth, E.B., 1988. Fatty acid composition of subcutaneous fat of sheep grazed on eight different pastures. *Meat Sci.* 23, 55-63.
- Castelli, W.P., Doyle, J.T., Gordon, T., Hames, C.G., Hlortand, M.C., Hulley, S.B., Kagan, A., Zukel, W.J., 1977. HDL cholesterol and other lipids in coronary heart disease, The cooperative lipoprotein phenotyping study. *Circulation*, 55, 767-772.
- Cepero, R., Sañudo, C., 1996. Definición y medición de las características de la calidad sensorial de la carne de ave. Jornadas técnicas de avicultura. Arenys de Mar, 10-13 junio 1996
- Cerdeño, A., Vieira, C., Serrano, E., Lavín, P., Mantecón, A.R., 2006. Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls. *Meat Sci.* 72, 719-726.
- Chacon, G., García-Belenguer, S., Illera, J.C., Palacio, J. 2004. Validation of an EIA technique for the determination of salivary cortisol in cattle. *Sp. J. Agric. Res.* 2, 45-51.
- Chang, T.S., Evans, R., Hood, R.L., 1980. Sire effect of fatty acid composition of ovine adipose tissue. *J. Anim. Sci.* 51, 1314-1320.
- Chang, J. H. P., Lunt, D. K., Smith, S. B., 1992. Fatty acid composition and fatty acid elongase and stearoyl-CoA desaturase activities in tissues of steers fed high oleate sunflower seed. *J. Nutr.* 122, 2074-2080.
- Charlier, C., 2003. La tractabilité comme un standard de production. *Economie Rurale* 275, 5-18.
- Charpentier, J. Goutefongea, R., 1966. Influence de l'excitation ante-mortem chez le porc sur quelques caractéristiques physico-chimiques du muscle. *Ann. Zootech*, 15, 353-359.
- Chasco, J., Lizaso, G., Beriaín, M. J., Horcada, A., Gorraiz, C., Hernández, B., *et al.*, 1995. Efecto de la maduración a vacío en el color de la carne de ternera de raza Pirenaica. *ITEA*, 2, 621-623.
- Chestnutt D.M.B., 1994. Effect of lamb growth rate and growth pattern on carcass fat levels. *Anim. Prod.* 58, 77-85.
- Choi, N.J., Kim, E.J., Maeng, W.J., Neville, M.A., Enser, M., Wood, J.D., Scollan, N.D., 1997. *Proc. Br. Soc. Anim. Sci.* 19, 19
- Christie, W.W., 1981. The composition, structure and function of lipids in the tissue of ruminant animals. In: *Lipids Metabolism in Ruminant Animals*. Pergamon Press. New York. EEUU, pp.95-191.
- CIE., 1986. Commission Internationale de L'Eclairage. *Colorimetry*, 2nd ed. Viena.
- Cobos, A., De La Hoz, L., Cambero, M.I., Ordoñez, J.A., 1994. Revisión: Influencia de la dieta animal en los ácidos grasos de los lípidos de la carne. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 34, 35-51.
- Cole, N.A., 1995. Influence of a three-day feed and water deprivation period on gut fill, tissue weights and tissue composition in mature wethers. *J. Anim. Sci.* 73, 2548-2557.
- Cole, N.A., 1998. Influence of deprivation diet nutrient density and sodium chloride content on nutrient losses and repletion in lambs. *J. Anim. Sci.* 76, 674-680.

- Colomer-Rocher, F. y Kirton, A.H., 1975. Las bases de la clasificación de canales ovinas. Análisis de la nueva clasificación de canales ovinas para exportación en Nueva Zelanda. In ITEA. 21, 26-57.
- Colomer-Rocher, F., 1972. Valor significativo de algunas medidas de corderos procedentes del cruce Castellano X Landschaf. In Publicación técnica, U.S. Feed Grains Council., Madrid.
- Colomer-Rocher, F., 1978. La clasificación de canales ovinas y bovinas y su posible homologación. In Symposium sobre la problemática de la clasificación de canales ovinas y bovinas, pp. 34. IAMZ, Zaragoza.
- Colomer-Rocher, F., 1984. Características generales del mercado internacional de carne ovina., Institución Fernando el Católico, Diputación Provincial de Zaragoza. Zaragoza.
- Colomer-Rocher, F., Delfa, R., Sierra, I., 1988. Método normalizado para el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales ovinas producidas en el área mediterránea según los sistemas de producción. Cuadernos INIA 17, 19-41.
- Colomer-Rocher, F., Espejo, M., 1973. Influencia del peso al sacrificio y del sexo sobre las características de las canales de raza Rasa Aragonesa. An. INIA Ser. Prod. Anim. 4, 133-150.
- Cramer, D.A., 1962. Genetic and environmental effect on fat composition of lambs. Proc. Recip. Meat Conf., 15, 173.
- Crouse, J.D., Field, R.A., Chant Jr., J.L., Ferrell, C.L., Smit, G.M., Harrison, V.L. 1978. Effect of dietary energy intake on carcass composition and palatability of different weight carcass from ewe and ram lambs. J. Anim. Sci. 47, 1207-1218.
- Crouse, J. D., Koochmarai, M., Seideman, S. D., 1991. The relationship of muscle fibre size to tenderness of beef. Meat Sci. 30, 295-302.
- Cuthbertson, A., 1978. Carcass evaluation of cattle, sheep and pigs. Wld. Rev. Nutr. Diet. 28, 210-235.
- Cuthbertson, A., Kempster, A.J., 1978. Sheep carcass and eating quality. British Council Special Course. March 5-17 of 1978. In: The British Council (ed). The Management and diseases of Sheep. The Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough (Reino Unido). Pp. 377-399.
- Cuthbertson, A., Kempster, A.J., 1979. Sheep carcass and eating quality. British Council Special Course. March 5-17 of 1978. In: The British Council (ed). The Management and diseases of Sheep. The Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough (Reino Unido). Pp. 377-399.
- De Boer, H.; Dumont, B. L.; Pomeroy, R. W.; Wenoger, T. H. ,1974. Manual on E.A.A.P. reference methods for the assessment of carcass characteristics in cattle. Liv. Prod. Sci. 1,151-164.
- Delfa, R., Gonzalez, C., Teixeira, A., 1996. Use of cold carcass weight and fat depth measurements to predict carcass composition of Rasa Aragonesa lambs. Small Rum. Res. 20, 267-274.
- Delfa, R., Teixeira, A., Colomer-Rocher, F., 1991. Cold carcass weight fat thickness, C measurement and *Longissimus dorsi* depth for predicting the carcass composition of Rasa Aragonesa ewes with different body condition scores. Options Méditerranéennes, Série A: Séminaires Méditerranéens. Etat corporel des brebis et chèvres. 13, 19-24.
- Delfa, R., Teixeira, A., Y Colomer, F., 1987. Relaciones existentes entre la conformación y la condición corporal en ovejas adultos de la raza Rasa Aragonesa. In ITEA. 7, 132-134.

- Demirel, G., Ozpinar, H., Nazli, B., Keser, O., 2006. Fatty acids of lamb meat from two breeds fed different forage: concentrate ratio. *Meat Sci.* 72, 229-235
- Denoyelle C., Chatelin Y.M., Brouard S., 2000. Aspects méthodologiques liés à la caractérisation des qualités organoleptiques des viandes bovines : la gestion des critères qualitatifs dans les cahiers des charges des démarches qualités, 7es Rencontres Recherches Ruminants, Paris 6–7 December pp 249–254.
- Department of Health, 1994. Nutritional aspects of cardiovascular diseases. Report on health and social subjects No 46. London: Her Majesty's Stationery Office.
- Desvignes, A., Cattin-Vidal, T., Poly, J., 1966. Comparison of the value of various types of commercial crossing on the production of lambs. I. Weight gain of lambs. *Ann. Zootech.* 15, 47-66.
- Diaz, M.T., 2001. Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Memoria para optar el grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid. 308 pp.
- Diaz, M.T., Cañeque, V., Lauzurica, S., Velasco, S., Ruiz de Huidobro, F., Perez, C., 2004. Prediction of suckling lamb carcass composition from objective and subjective carcass measurements. *Meat Sci.* 66, 895-902.
- Diaz, M.T., Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Ruiz de Huidobro, F., Pérez, C., Gonzáles, J., Manzanares, C., 2002. Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. *Small Rum. Res.* 43, 257-268.
- Diaz, M.T., Velasco, S., Pérez, C., Lauzurica, S., Ruiz de Huidobro, F., Cañeque, V., 2003. Physico-chemical characteristics of carcass and meat Manchego-breed suckling lambs slaughtered at different weights. *Meat Sci.* 65, 1085-1093.
- Diestre, A., 1985. Estudio de los factores biológicos determinantes del desarrollo de las canales de cordero y de sus características comerciales.
- Dinius, D. A., Cross, H. R., 1978. Feedlot performance, carcass characteristics and meat palatability of steers fed concentrate for short periods. *J. Anim.Sci.* 47, 1109–1113.
- DOCE, 1994. Reglamento (CEE) n° 1278/94 del Consejo, de 30 de mayo de 1994, por el que se modifica el Reglamento (CEE) n° 2137/92 del Consejo, relativo al modelo comunitario de clasificación de canales de ovino. DOCE num. L 140, 3/6/1994. pp 5-6.
- DOCE, 2008. Reglamento (CEE) n° 22/2008 del Consejo, de 11 de enero de 2008, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del modelo comunitario de clasificación de canales de ovino. DOCE num. L 9/6, 12/1/2008. pp 1-6.
- Dransfield, E., Nute, G.R., Roberts, T.A., Bocard, R., Touraille, C., Buchter, L., Casteels, M., Cosentino, E., Hood, D.E., Joseph, R.L., Schon, I., Paardekooper, E.J.C., 1984. Beef Quality Assessed At European Research Centres. *Meat Sci.* 10, 1-10.
- Dryden, F.D., Marcello, J.A., 1970. Influence of total lipid and fatty acid composition upon palatability of three bovine muscles. *J. Anim. Sci.* 31, 36-41.
- Dubiski P.L., Jones S.D.M., Aalhus J.L., Robertson W.M., 1997. Canadian, American, and Japanese carcass grades of heifers fed to heavy weights to enhance marbling. *Can. J. Anim. Sci.* 77, 393-402.
- Dunne, P., O'Mara, F., Monahan, F. and Moloney, A., 2006. Changes in colour characteristics and pigmentation of subcutaneous adipose tissue and M. *Longissimus dorsi* of heifers fed grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Sci.* 74, 231-241.
- Eguinoa, P., Granada, A., Lanas, S., 2004. Caracterización de las canales de cordero ternasco producido en Navarra. *Navarra Agraria-ITG Ganadero.* 147, 31-37

- Eikelenboom, G., Hoving-Bolink, A. H., & Hulsegge, B. (1992). Evaluation of invasive instruments for assessment of veal color at time of classification. *Meat Science*, 31, 343–349.
- Elmore, J.S., Mottram, D.S., Enser, M., Wood, J.D., 2000. The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb. *Meat Sci.* 55, 149-159.
- Ely, D.G., Glenn, B.P., Mohamed Mahyuddin, James D. Kemp, Thrift F.A., Deweese, W.P., 1979. Drylot vs Pasture: Early-Weaned lamb performance to two slaughter weights. *J. Anim. Sci.* 48, 32-37.
- Enser, M., Hallett, K., Hewitt, B., Fursey, G., Wood, J.D., 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Sci.* 49, 329-341.
- Enser, M., Wood, J.D., 1995. Effect of diet on intramuscular *n-6* and *n-3* polyunsaturated fatty acids in cattle, sheep and pigs. *Proc. 2nd Dummerstorf Muscle-Workshop. Muscle growth and meat quality. Rostock 17-19th May 1995*, 125-132.
- Enser, M.; Scollan, N., Gullati, S., Richardson, I., Nute, G., Wood, J.D., 2001. The effect of ruminally protected dietary lipid on the lipid composition and quality of beef muscle. *Proc. 47th international congress of meat science and technology*, 1, 12-13.
- Espejo, M., Valls, M., y Colomer-Rocher, F., 1974. Ensayo comparativo del cruce de una raza ovina española con moruecos de raza Finlandesa y con otros tipos de aptitud cárnica. In *I Congreso Mundial de Genética Aplicada a la Producción Ganadera. 7-11 de octubre, Madrid. España.*
- Esteban, C. 2003. Razas ganaderas españolas ovinas. Ed. FEAGAS-MAPA. 470 pp.
- European Communities, 1986. Council Directive of 24 November 1986 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States regarding the protection of animals used for experimental and other scientific purposes (86/609/EEC).
- FAO/WHO, 1994. Fats and Oils in Human Nutrition. FAO food and nutrition paper 57. Rome: Food Agriculture Organization.
- Feldhusen, F., Warnatz, A., Erdmann, R., Wenzel, S., 1995. Influence of storage time on parameters of colour stability on beef. *Meat Sci.* 40, 235–243.
- Fernández, M.I., Woodward, B. W., 1999. Comparison of conventional and organic beef production systems I. feedlot performance and production costs. *Liv. Prod. Sci.* 61, 213-223
- Fhamy, D.C., Harrison, D.L., Anderson, L.L., 1972. Lamb and beef roast cooked from the frozen state by dry and moist heat. *J. FoodSci.* 37, 226-229.
- Field, R. A., Maiorano, G., McCormick, R. J., Riley, M. L., Russell, W. C., Williams, F. L., Crouse, J. D., 1990. Effect of plane of nutrition and age on carcass maturity of sheep. *J. Anim. Sci.* 68, 1616-1623.
- Field, R.A., Kemp, J.D., Varney, W.Y., 1963. Indices for lamb carcass composition. *J. Anim. Sci.* 22, 218-221.
- Field, R.A., Rule, D.C., Riley, M.L., 1992. Characteristics of fat from heavy lambs fed a 90% corn diet or alfalfa pellets. *Sheep Res. J.*, 8, 77-80.
- Field, R.A., Williams, J.C., Ferrell, C.L., Couse, J.D., Kunsman, J.R., 1978. Dietary alteration of palatability and fatty acids in meat from light and heavy weight ram lambs. *J. Anim.Sci.* 47, 858-864.
- Fishell, V.K., Aberle, E.D., Perry, T.W., 1985. Palatability and muscle properties of beef as influenced by preslaughter growth rate. *J. Anim. Sci.* 61, 151-157.

- Fisher, A.V., Enser, M., Richardson, R.I., Wood, J.D., Nute, G.R., Kurt, E., *et al.*, 2000. Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production systems. *Meat Sci.* 55, 141-147.
- Flamant, J.C. and Boccard, R., 1966. Estimation de la qualité de la carcasse des agneaux de boucherie. *Ann. Zootech.* 15, 89-113.
- Floharty, F.L., McClure, K.E., Solomon, M.B., Chevenger, D.D., Lowe, G.D., 1999. Energy source and ionophore supplementation on lamb growth, carcass characteristics, visceral organ mass, diet digestibility and nitrogen metabolism. *J. Anim. Sci.* 77, 816-823.
- Font i Furnols, M., San Julian, R., Guerrero, L., Sañudo, C., Campo, M.M. Olleta, J.L., Oliver, M.A., Cañeque, V., Alvarez, I., Diaz, M.T., Branscheid, W., Wicke, M., Nute, G.R., Montossi, F., 2006. Acceptability of lamb meat from different producing systems and ageing time to German, Spanish and British consumers. *Meat Science* 72, 545-554.
- Forrest, J.C.; Aberle, E.D.; Hedrick, H.B.; Judge, M.D.; Merkel, R.A., 1979. *Fundamentos de la Ciencia de la Carne*. Edit. Acribia. Zaragoza. España. Pp 150-158.
- Fraser, A. F., Broom, D. M., 1990. *Farm Animal Behaviour and Welfare*. 3^a ed. Bailliere-Tindall. Saunders, W. B. Company, London.
- French P., O'Riordan E., Monahan F., Caffrey P., Mooney M., Troy D., Moloney A. 2001. The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Sci.* 57, 379-386.
- French, P., Stanton, C., Rawless, F., O'Riordan E., Monahan, F., Caffrey, P., 2000. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate based diets. *Meat Sci.* 56, 173-180.
- Garrett, R., Edwards, H., Savell, J.W., Tatum, J.W., 1992. Evaluation of the Hennessy Grading Probe to predict yields of lamb carcasses fabricated to multiple end points. *J. Anim. Sci.* 70, 1146-1152.
- Gault, N. F. S., 1985. The relationship between water-holding capacity and cooked meat tenderness in some beef muscles as influenced by acidic conditions below the ultimate pH. *Meat Sci.* 15, 15-30.
- German, J.B., 1990. Muscle lipids. *J. Muscle Foods*, 1, 339-361.
- Gibon, A. 1997. Mutations des systèmes d'élevage et utilisation des espaces pastoraux privés et collectifs dans les Pyrénées centrales. *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*; 32, 69-80.
- 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 Sci.* 58, 181-188.
- Gill, B. P., Mccone, S., Onibi, G. E., Peatfield, S., Gall, K., 1995. Effect of inclusion rate and withdrawal of full-fat rapeseed on the performance and carcass fatty acid profile of finishing pigs. *Animal Sci.* 60, 520.
- Girard, J.P., 1986. Tissus adipeux, qualités organoleptiques et aptitudes à la transformation. *Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A.* 65, 53-59.
- Glitsch, K., 1997. Consumer behaviour towards meat in the EU: A preliminary Statistical analysis. In Proc. 4th Meeting of EU Project Partners, the National Food Centre, Dublin, 6-8 June, 1997

- Goddard, P.J., Fawcett, A.R., Macdonald, A.J., Reid, H.W., 2000. The behavioural, physiological and immunological responses of lambs from two rearing systems and two genotypes to exposure to humans. *J. Appl. Anim Behav. Sci.* 66, 305-321.
- Goering, H.K., Waldo, D.R., Tyrrell, H.F., Thomson, D.J., 1991. Composition of formaldehyde- and formic acid-treated alfalfa and orchardgrass silages harvested at two maturities and their effects on intake and growth by Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 69, 4634-4643
- Grandin, T. 1995. A review of studies of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.* 73 (Suppl. 1),125 (Abstr.).
- Grunert, K. G., Bredahl, L., BrunsØ, K., 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector a review. *Meat Science* 66, 259-272.
- Guía, E., Cañeque, V., 1992. Crecimiento y desarrollo del cordero Talaverano. Evolución de las características de su canal. Área de Producción Animal. Consejería de Agricultura de la junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Hammond, J., 1932. Growth and development of Mutton Qualities in the Sheep. Oliver and Boyd. Edimburgo.
- Hammond, Jr., J. Bowman, J.C., Robinson, T.J., 1983. Hammond's Farm Animals, 5th Ed. Edward Arnold Ltd. London. pp. 305. Ed. Acibia-Zaragoza. 298 pp.
- Haugebak, C. D., Hedrick, H. B., Asplund, J. M., 1974. Relationship between extramuscular adipose tissue lipoprotein activity and intramuscular lipid deposition in fattening lambs. *J. Anim. Sci.* 39, 1026-1031
- Hedrick, H. B., Paterson, J. A., Matches, A. G., Thomas, J. D., Morrow, R. E., Stringer, W. C., *et al.*, 1983. Carcass and palatability characteristics of beef produced on pasture, corn silage and corn grain. *J. Anim.Sci.* 57, 791-801.
- Hegsted, D.M., Mcgandy, R.B., Myers, M.L., Stare, F.J., 1965. Quantitative effects of dietary fat on serum cholesterol in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, 17, 281-95.
- Hermansen, K., Dinesen, B., Hoie, L.H., Morgenstern, E., Gruenwald, J., 2003. Effects of soy and other natural products on LDL:HDL ratio and other lipid parameters: a literature review. *Adv Ther.* 20, 50-78.
- Higgins, F. M., Kerry, J. P., Buckley, D. J., Morrissey, P. A., 1998. Dietary supplementation versus direct post mortem addition of atocopherol on lipid and colour stability in cooked turkey breast patties. *Food Res. Intern.* 31, 205-209.
- Hood, R. L., 1983. Changes in fatty acid synthesis associated with growth and fattening. *Proc. Nutri. Soc.* 42, 303-313
- Hopkins, D., Roberts, A. Pirlot, K., 1993. Estimation of mutton carcass components using two predictors. *Meat Sci.* 33, 293-299.
- Hopkins, D. L. ,1994. Predicting the weight of lean meat in lamb carcasses and the suitability of this characteristic as a basis for valuing carcasses. *Meat Sci.* 38, 235-241.
- Hopkins, D.L. and Fogarty, N. M., 1998. Diverse lamb genotypes 1: Yield of the saleable cuts and meat and the prediction of yield. *Meat Sci.* 49, 459-475.
- Hopkins, D.L. Nicholson, A. (1999). Meat quality of wether lambs grazed on either saltbush (*Atriplex nummularia*) plus supplements or lucerne (*Medicago sativa*). *Meat Sci.* 51, 91-95.
- Hughes B.O., 1976. Behaviour as an index of welfare, Proc. V. Europ. Poultry Conference Malta, pp. 1005-1018.

- Immonen, K., Rossunen, M., Hissa, K., Poulanne, E., 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Sci.* 55, 25-31.
- Insausti, K., Beriáin, M. J., Purroy, A., Albertí, P., Lizaso, L., & Hernández, B. (1999). Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. *Meat Science*, 53, 241–249.
- Johnson, C.B., Wong, E., Birch, E.J., Purchas, R.W., 1977. Analysis of 4-methyloctanoic acid and other medium chain-length fatty acid constituents of ovine tissue lipids. *Lipids*, 12, 340-347.
- Joy M., Ripoll G., Delfa, R., 2008b. Effects of feeding system on carcass and non-carcass composition of Churra Tensina light lambs. *Small Ruminants Research*, 78, 123-133.
- Joy, M., Álvarez-Rodríguez. J., Revilla, R, Delfa R, Ripoll G., 2008a. Ewe metabolic performance and lambs carcass traits in pasture and concentrate-base production systems in Churra Tensina breed. *Small Rum. Res.* 75, 24-35.
- Joy, M., Congost, S., Delfa, R., Alvarez-Rodriguez, J., Sanz, A., 2007. Diversificación de las producciones ovinas: utilización de praderas en el cebo de corderos. Informaciones técnicas, num. 175. Diputación General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. 12 pp.
- Judge, M. D., Martin, T.G., Outhouse, J.B., 1966. Prediction of carcass composition of ewe and wether lambs from carcass weights and measurements. *J. Anim. Sci.* 25, 92-95.
- Kadim, I. T., Purchas, R.W., Davies, A.S., Rae, A.L., Barton., R.A., 1993. Meat quality and muscle fiber type characteristics of Southdown rams from high and low backfat selection lines. *Meat Sci.* 33, 97-109.
- Kadim, I.T., Mahgoub, O., Al-Kindi, A., Marzooqi, W., Al-saqri, N.M. 2006. Effects of transportation at high ambient temperatures on physiological responses, carcass and meat quality characteristics of three breeds of Omani goats. *Meat Sci.* 73, 626-634.
- Karim, S.A., Kuldeep Porwal, Suresh Kumar, Singh, V.K., 2007. Carcass traits of Kheri lambs maintained on different system of feeding management. *Meat Sci.* 76, 395-401.
- Keane M.G., Allen P., 1999. Effects of pasture fertiliser N level on herbage composition, animal performance and on carcass and meat quality trait , *Livest. Prod. Sci.* 61 233–244.
- Keenan, D. M., McManus, W.R., Freer, M., 1969. Changes in the body composition and efficiency of mature sheep during loss and regain of liveweight. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 72, 139-147.
- Kemp, J. D., A. E. Johnson, D. F. Stewart, D. G. Ely, and J. D. Fox, 1976. Effect of dietary protein, slaughter weight and sex on carcass composition, organoleptic properties and cooking losses of lamb. *J. Anim. Sci.* 42, 575-583
- Kemp, J., Lambuth, T.R., Barton, R.A., 1970. Relationships of lamb carcass measurements and sample cut composition to carcass side composition. *J Anim Sci.* 31, 686-689.
- Kemp, J.D., Mahyuddin, M., Ely, D.G., Fox, J.D., Moody, W.G., 1981. Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on organoleptic properties and fatty acid composition of lamb. *J. Anim. Sci.* 51, 321-330.
- Kempster, A. J., Avis, P. R. D., Cuthbertson, A., Harrington, G., 1976. Prediction of the muscle content of lamb carcasses of different breed types. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 86, 23–34.
- Kempster, A.J. and Harrington, G., 1980. The value of 'fat-corrected' conformation as an indicator of beef carcass composition within and between breeds. *Livest. Prod. Sci.* 7, 361-372.

- Kempster, A.J., Croston, D., Jones, D.W., 1981. Value of conformation as indicator of sheep carcass composition within and between breeds. *Anim. Prod.* 33, 23-24.
- Kempster, A.J., Cuthbertson, A., Y Harrington, G., 1982. *Carcass Evaluation In Livestock Breeding, Production and Marketing* Granada Publishing Limited, London.
- Kempster, A.J., Jones, D.W., Wolf, B.T., 1986. A comparison of alternative methods for predicting the carcass composition of crossbred lambs of different breeds and crosses. *Meat Sci.* 18, 89-110.
- Kempster, A. J., Croston, D. and Jones, D. W., 1987. Tissue growth and development in crossbred lambs sired by ten breeds. *Livest. Prod. Sci.* 16, 145-162.
- Kerth, C. R., Braden, K. W., Cox, R., Kerth, L. K., Rankins, D. L. Jr., 2007. Carcass, sensory, fat color, and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass (*Lolium multiflorum*) forage or a high-concentrate diet. *Meat Sci.* 75, 324–331.
- Keys, A., Menotti, A., Karvonen, M.J., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Djordjevic, B.S., Dontas, A.S., Fianza, F., Keys, M.H., Kromhout, D., Nedeljkovic, S., Punsar, S., Seccareccia, F., Toshima, H., 1986. The diet and 15-year death rate in the seven Countries study. *Ann. J. Epidem.* 124, 903-915.
- Kinsella, J.E., 1988. Food lipids and fatty acids: Importance in food quality, nutrition and health. *Food Technol.* 42, 124-145.
- Kirton, A.H., Clarke, H.M., y Carter, A.H., 1967. Effect of pre-slaughter fasting on live weight, carcass weight and carcass composition of Southdown ram lambs. *N. Z. J. Agric. Res.*, 10, 43-55.
- Kirton, A.H., Crane, B., Paterson, D.J., Y Clare, N.T., 1975. Yellow fat in lambs caused by carotenoid pigmentation. *N. Z. J. Agric. Res.*, 18, 267-272.
- Klont, R. E., Barnier, V. M. H., Van Dijk, A., Smulders, F. J. M., Hoving-Bolink, A. H., Hulsegge, B., *et al.* 2000. Effects of rate of pH fall, time of deboning, aging period, and their interaction on veal quality characteristics. *J. Anim. Sci.* 78, 1845–1851.
- Knight, A.D., Foote, W.C., 1965. Influence of breed-type, feed level and sex on lamb carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 24, 786-789.
- Knowless, T.G., 1999. A review of the road transport of the cattle. *Vet. Rec.* 194, 197-201.
- Koohmaraie, M., 1992. Muscle proteinases and meat aging. In 38th International Congress of Meat Science and Technology, Vol. 1, pp. 61, Clermont-Ferrand. France. Proc.
- Koohmaraie, Mohammad, 1994. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat. *Meat Sci.* 43, S193-S201.
- Kosulwat, S., Greenfield, H., James, J., 2003. Lipid composition of Australian retail lamb cuts with differing carcass classification characteristics. *Meat Sci.* 65, 1413-1420.
- Krammer, A., 1994. Use of color measurements in quality control of food. *Food Technol.* 48, 63-71.
- Kritchevsky, D., 1998. History of recommendations to the public Sanudo, C., Enser, M.E., Campo, M.M., Nute, G.R., Maria, G., about dietary fat. *J. Nutr.* 128, 449S–452S.
- Lambuth, T.R., James, D., Kemp, D., Glimp, H.A., 1970. Effect of rate of gain and slaughter weight on lamb carcass composition. *J. Anim. Sci.* 30, 27-35.
- Lauzurica, S., De la fuente, J., Díaz, M.T., Álvarez I., Perez, C., Cañeque, V., 2005. Effect of dietary supplementation of vitamina E on characteristics of lamb meat packed under modified atmosphere. *Meat Sci.* 70, 639-646.

- Lawrie, R.A., 1966. The eating quality of meat. In Meat Sci. Pergamon Press, London. Fisher, A.V., Enser, M., Richardson, R.I., Wood, J.D., Nute, G.R., Kurt, E., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., 2000. Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production systems. Meat Sci. 55, 141-147.
- Lawrie, R.A., 1998. Ciencia de la carne. 3ra Edic. Edit. Acribia, S.A. Zaragoza (España). 367 p.
- Ledward, D. A., Dickinson, R. F., Powell, V. H., Shorthose, W. R., 1986. The colour and colour stability of beef *Longissimus dorsi* and semimembranosus muscles after effective electrical stimulation. Sci. 16, 245–265.
- Lee, J.H., Kouakou, B., Kannan, G., 2008. Chemical composition and quality characteristics of chevon from goats fed three different post-weaning diets. Small Rum. Res.. 75, 177-184.
- Lepetit, J. y Culioli, J., 1991. Mechanical properties of meat. Meat Sci. 36, 203-237.
- Liu, Q., Scheller, K. K., Arp, S. C., Schaefer, D. M., Williams, S. N., 1996. Titration of fresh meat stability and malondialdehyde development with Holstein steers fed vitamin E-supplemented diets. J. Anim.Sci. 74, 117–126.
- Lough, D.S., Solomon, M.B., Rumsey, T.S., Elsasser, T.H., Slyter, L.L., Kahl, S., Lynch, G.P., 1992. Effects of dietary canola seed and soy lecithin in high-forage diets on cholesterol content and fatty acid composition of carcass tissues of growing ram lambs. J. Anim. Sci. 70, 1153-1158.
- Lynch A., Kerry J. P., O'Sullivan M. G., Lawlor J. B. P., Buckley D. J., Morrissey, P. A., 2000. Distribution of a-tocopherol acetate supplementation. Meat Sci. 56, 211-214.
- Macedo, F.A.F.; Siqueira, E.R.; Martins, E.N., 2000. Qualidade de carcaças de cordeiros Corriedale puros e mestiços terminados em pastagem e confinamento. Rev. Bras. Zootec. 29, 1520-1527.
- Mandell, I. B., Buchanan-Smith, J. G., Campbell, C. P., 1998. Effects of forage vs grain feeding on carcass characteristics, fatty acid composition, and beef quality in Limousin-cross steers when time on feed is controlled. J. Anim.Sci. 76, 2619–2630.
- MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2005) Anuario del Censo y Producción agraria.
- Marmer, W.N., Maxwell, R.J., Williams, J.E., 1984. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. J. Anim. Sci. 59, 109-121.
- Martínez-Cerezo, S., Sañudo, C., Panea, B., Medel, I., Delfa, R., Sierra, I., Beltrán, J.A., Cepero, R., Olleta, J.L., 2005. Breed, slaughter weight and ageing time effects on physico-chemical characteristics of lamb meat. Meat Sci. 69 (2), 325-333.
- Maza, M.T., Manrique, E.; Olaizola, A. 1999. Insertion of Pyrenean farms in the lamb production chain in the region of Aragón. Options méditerranéennes. 27, 47-63
- McClure, K. E., Keuren, R. W., Althouse, P. G., 1994. Performance and carcass characteristics of weaned lambs either grazed on orchardgrass, ryegrass or alfalfa or fed all-concentrate diets in drylot. J. Anim. Sci. 72, 3230–3237.
- McClure, K. E., Solomon, M.B. Loerch, S.C., 2000. Body weight and tissue gain in lambs fed an all-concentrate diet and implant trenbolone acetate or grazed on alfalfa. J. Anim. Sci. 78, 1117-1124.
- McClure, K. E., Solomon, M.B., Parrett, N.A., Van Keuren, R.W., 1995. Growth and tissue accretion of lambs fed concentrate in drylot grazed on alfalfa or ryegrass at weaning or after backgrounding on ryegrass. J. Anim. Sci. 73, 3437-3444.

- McInerney, J., 2004. Animal welfare, economic and policy. Report on a study undertaken for the farm and animal health economics division of Defra. <http://statistics.defra.gov.uk/esg/reports/animalwelfare.pdf>
- McManus, W. R., Reid, J. T., Donaldson, L.E., 1972. Studies of compensatory growth in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 79,1-12.
- Miguel, E., Ruiz de Huidobro, F., Blázquez, B., Velasco, S., Luzurica, S., Pérez, C., Cañeque, V., 2007. Live weight effect on the prediction of tissue composition in suckling lamb carcasses using the European Union scale. *Small Rum. Res.* 67, 199-208.
- Miguelez, E., Zumalacárregui, J.M., Osorio, M.T., Beteta, O., Mateo, J., 2006. Carcass characteristics of suckling lambs protected by the PGI "Lechazo de Castilla y Leon" European quality label: Effect of breed, sex and carcass weight. *Meat Sci.* 73, 82-89.
- Mitchell G.E., Reed A.W., Rogers S.A., 1991. Influence of feeding regimen on the sensory qualities and fatty acid contents on beef steaks, *J. Food Sci.* 56, 1102-1103.
- Moberg, G.P., 1985. Biological response to stress: key to assessment of animal well-being? En G.P. Moberg (Ed.), *Animal stress*. Bethesda, Maryland, USA: American Physiological Society.
- Moore, J.H., Christie, W.W., 1984. Digestion, absorption and transport of fats in ruminant animals. In *Fats in Animal Nutrition* (ed J. Wiseman), pp. 123-149. Butterworths, London.
- Morgan, P.D., Arnold, G.E., 1974. Behavioural relationships between merino ewes and lambs during the four weeks after birth. *Anim. Prod.* 19. 169-176.
- Moron-Fuenmayor O.E., Clavero T., 1999. The effect of feeding system on carcass characteristics, non-carcass components and retail cut percentages of lambs. *Small Rum. Res.* 34. 57-64.
- Muir, P., Dreaker, J., Bown, M., 1998. Effects of forage-and grain-based feeding systems on beef quality. A review. *N. Z. J. Agric. Res.* 41, 623-635.
- Murray, A.C., 1989. Factors affecting beef colour at time of grading. *Can. J. Anim. Sci.* Vol. 69, 347-355.
- Murphy T.A., Loerch S.C., McClure K.E., Solomon M.B., 1994a. Effects of Grain or Pasture Finishing Systems on Carcass. *J. Anim. Sci.* 72, 3138-3144.
- Murphy T.A., Loerch S.C., McClure K.E., Solomon M.B., 1994b. Effects of restricted feeding on growth performance and carcass composition of lambs subjected to different nutritional treatments. *J. Anim. Sci.* 72, 3131-3137.
- Napolitano, F., Cifuni, G.F., Pacelli, C., Riviezzzi, A.M., Girolami, A., 2002. Effect of artificial rearing on lamb welfare and meat quality. *Meat Sci.* 60, 307-315.
- Nestel P, Clifton P, Noakes M., 1994. Effects of increasing dietary palmitoleic acid compared with palmitic and oleic acids on plasma lipids of hypercholesterolemic men. *J. Lipid. Res.* 35, 656-662
- Norton, B. W., Jagusch, K. T., Walker, D. M., 1970. Body composition studies with the milk fed lamb. 111. The effect of the protein and energy intake on the composition of the live weight gain. *J. Agric.Sci. (Camb)* 75, 287-292.
- Notter, D.R., Kelly, R.F., Berry, B.W., 1991. Effects of ewe breed and management system on efficiency of lamb production. III. Meat characteristics. *J. Anim. Sci.* 69, 3523-3532.
- NSA (National Sheep Association, 1987. The natural sheep farm of Europe. In National Sheep Association, Great Malvern.

- Nuernberg, K., Fischer, A., Nuernberg, G., Ender, K., Dannenberger, D., 2008. Meat quality and fatty acid composition of lipids in muscle and fatty tissue of Skudde lambs fed grass versus concentrate. *Small Rum. Res.* 74, 279–283.
- Offer, G., Knight, P., 1988. The structural basis of water-holding in meat. In *Developments in Meat Sci.* 4, part 2 (ed R. Lawrie), pp. 173.
- Okeudo, N.J., Moss, B.W., Chestnutt, M.B. 1994. Effect of feeding a milk diet or concentrate plus hay diet on carcass and meat quality of lamb. 40th international congress of meat science and technology, S-IVA. 38
- Olaizola, A. 1991. Viabilidad de sistemas ganaderos de montaña en condiciones de competencia en el uso de factores productivos. Análisis de la ganadería en un valle pirenaico característico mediante técnicas multivariantes y de optimización. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 475 pp.
- Oliete, B., Carballo, J.A., Varela, A., Moreno, T., Monserrat, L., Sánchez, L. (2006). Effect of weaning status and storage time under vacuum upon physical characteristics of meat of the Rubia Gallega breed. *Meat Sci.*, 73, 102-108.
- Olleta, J.L. 1988. Estudio etnológico y fisiocootécnico de la raza ovina Churra Tensina del Pirineo Aragonés. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 374 pp.
- Olleta, J.L., Sañudo, C. Sierra, I., 1992b. Producción de carne en la agrupación ovina churra tensina: calidad de la canal y de la carne en los tipos ternasco y cordero de cebo. *Arch. Zoot.* 41, 197-208.
- Olleta, J.L., Sierra, I., Sañudo, C., 1992a. Producción de carne en la agrupación ovina churra tensina: cordero pastenco y de cebo. *ITEA Inf. Tec. Econ. Agrar.* 16, 119-128.
- Olleta, J.L., Sierra, I., Sañudo, C., 1992c. Producción de carne en la agrupación ovina churra tensina: cordero pastenco y de cebo. *ITEA* 16, 119–128.
- Orgeur, P., Mavric, N., Yvore, O., Bernard, S., Nowak, R., Schaal, B., Levy, F., 1998. Artificial weaning in sheep: consequences on behavioural, hormonal and immuno-pathological indicators of welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 58, 87-103.
- Oriani, G., Maiorano, G., Filetti, F., Di Cesare, C., Manchisi, A., Salvatori, G., 2005. Effect on fatty acid composition of Italian Merino suckling lambs. *Meat Sci.* 71, 557-562.
- Osorio, J., Sierra, I., Sañudo, C., María, G., Y Osorio, M.T., 1993. Estudio comparativo de la calidad de la canal en el tipo "Ternasco" según procedencia. In XVIII Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, pp. 629- 638, Albacete.
- Osorio, J.C., Maria, G., Oliveira, N., Osorio M.T., Pouey, J., Pimentel, M., 1999. Estudio de tres sistemas de producción de carne en corderos Polwarth. *Rev. Bras. Agrociencia.* Vol. 5 (2), 124-130.
- Ouali, A., 1991. Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production. In (eds L. Fiems, B. Cottyn y D. Demeyer), Vol. 85. Elsevier Science Publ., Amsterdam,.
- Palombo, R., Wijngaards, G., 1990. Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat durin processing. *Meat Sci.* 28 (1), 61-76.
- Park, R.J., Corbett, J.L., Funival, E.P., 1972. Flavour differences in meat from lambs grazed on lucerne (*Medicago sativa*) or phalaris (*Phalaris tuberosa*) pastures. *J. Agric.Sci.* 78, 47-52.
- Paul, P.C., Torten, J., Spurlock, G.M. 1964. Eating quality of lamb. *Food Tech.* 18, 121-130.
- Pearson, A.M., 1966. Desiderability of beef, its characteristics and their measurement. *J. Anim. Sci.* 25, 843-854.

- Pearson, A.M., Love, J.D., Shorland, F.B., 1977. Warmed-over flavor in meat, poultry and fish. *Adv. Food Res.*, 23, 1.
- Peña, F., Cano, T., Doménech, V., Alcalde, Ma. J., Matos, J., Garcia-Martinez, A., Herrera, M., Rodero, E., 2005. Influence of sex, slaughter weight and carcass weight on "non-carcass" and carcass quality in segureña lambs. *Small Rum. Res.* 60, 247-254.
- Pérez, C., Diaz, M.T., Ruiz De Huidobro, F., Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Manzanares, C., Y Onega, E., 1999. Engorde de corderos de raza Talaverana en pastoreo o aprisco con distintos sistemas de alimentación. II. Efecto sobre la proporción de piezas y su composición tisular. In XXIV Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, pp. 439-442, Soria.
- Pérez-Alvarez, J.A., 1996. Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Perez-Alvarez, J.A., Fernandez-Lopez, J., Sayas-Barberá, M.E., Cartagena-gracia, R., 1998. Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne*, 63, 115-122.
- Petrova, Y., Banskalieva, V., Dimov, V., 1994. Effect of feeding on distribution of fatty acids as Sn-2 position in triacylglycerols of different adipose tissues in lambs. *Small Rum. Res.* 13, 263-267.
- Prache, S. Theriez, M., 1999. Traceability of lamb production systems: carotenoids in plasma and adipose tissue. *J. Anim. Sci.* 69, 29–36.
- Prache, S., Aurousseau, B., Theriez, M., Renerre, M., 1990. Les défauts de couleur du tissu adipeux sous cutané des carcasses d'ovins (Discoloration of sheep carcass subcutaneous fat). *INRA Prod. Anim.* 3, 275-285.
- Prache, S., Cornu, A., Berdagué, J.L., Priolo, A., 2005. Traceability of animal feeding diet in the meat and milk of small ruminants. *Small Rum. Res.* 59, 157-168.
- Prescott, J.H.D., 1982. Crecimiento y desarrollo en los corderos. In *Manejo y enfermedades de las ovejas* (ed C.A.B.). Acricbia, Barcelona.
- Prescott, J.H.D., Hinks, C.E., 1968. System of management and carcass quality of steers. *Rep. n° 8*, Dep. Agric. Market. Univ. Newcastle upon Tyne.
- Priolo, A., Micol, D., Agabiel, J., 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Anim. Res. INRA.* 50, 185-200
- Priolo, A., Micol, D., Agabiel, J., Prache, S., Dransfield, E., 2002. Effect of grass or concentrate feeding on lamb carcass and meat quality. *Meat Sci.* 62, 179-185.
- Raes, K., De Smet, S., Demeyer, D., 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. *Anim. Food Sci. Tech.* 113, 199-221.
- Razminowicz, R. H., Kreuzer, M., Scheeder, M. R. L., 2006. Quality of retail beef from two grass-based production systems in comparison with conventional beef. *Meat Sci.* 73, 351–361.
- Renerre, M., 1986. Influence des facteurs biologiques et technologiques sur la couleur de la viande bovine. *Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., INRA.* 65, 41-45.
- Resconi, V. 2007. The effect of diet on vitamin E concentration, colour shelf life and lipid oxidation during simulated retail display in beef steaks from different production systems. Tesis Máster. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza-España. 121 pp.

- Revilla, R. 1987. Las zonas de montaña y su entorno económico. Análisis estructural y bases técnicas para la planificación de la ganadería en los altos valles del Sobrarbe (Pirineo Oscense). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza
- Revilla, R. 1991. La producción ovina en zonas de montaña. Caracterización y factores condicionantes. III Curso Internacional sobre Producción de Ganado Ovino. Área: Sistemas de Producción. ICI-INIA-SIA (DGA). Zaragoza, 1-18.
- Rhee, K. S., 1992. Fatty acids in meats and meat products. In C. K. Chow, Fatty acids in foods and their health implications. (pp. 65–93). New York: Marcel Dekker.
- Richardson, R. I., Wood, J. D., Ball, R., Hallett, K. G., Scollan, N. D. 2007. Effect of grass and concentrate feeding systems on fatty acid composition, lipid and colour shelf life of beef loin muscle. In: Proceedings of the 53rd International Congress of Meat Science and Technology, Beijing, China, pp.385–386.
- Rigg, B. 1987. Colorimetry and the CIE system. In: McDonald, R. ed. Colour physics for industry. Bradford, West Yorkshire, Dyers' Company Publications Trust. Pp. 63-96.
- Ripoll G., Joy M., Muñoz F., Albertí P., Delfa R., 2008b. Fat colour, a traceability parameter of grass feeding in lambs. *Options Méditerranéennes*, 78, 301-306.
- Ripoll G., Joy M., Muñoz F., Albertí P. Delfa R. 2006. Fat colour, a traceability parameter of grass feeding in lambs. 2nd Seminar of the Scientific-Professional Network on Mediterranean Livestock Farming. Mediterranean livestock production: Uncertainties and Opportunities. 18-20 de mayo, Zaragoza, España.
- Ripoll, G., Joy, M., Muñoz, F., Albertí, P. 2008. Meat and fat colour as a tool to trace grass-feeding systems in light lamb production. *Meat Sci.* 80, 239-248.
- Ripoll, G., Sanz, A., Alvarez, J., Joy, M., Delfa, R., Albertí, P., 2005. Sheep production in Spanish dry mountain areas: 3. The effect of fattening system on carcass traits, fat and muscle colour and meat texture in light lambs of Churra Tensina breed. In Proceedings of the Br. Soc. Anim. Sci. 147p. York, 4–7 April
- Rivero, L., 2007. Efectos del doble transporte con diferentes tiempos de estancia en el centro de clasificación sobre el bienestar animal y la calidad de la carne de corderos tipo ternasco en época cálida. Tesis Máster. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza-España. 193 pp.
- Rizzi, L., Simioli, M., Sardi, L., Monetti, P.G.. 2002. Carcass quality, meat chemical and fatty acids composition of lambs fed diets containing extruded soybeans and sunflower seeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 97, 103-114.
- Rose, D., 1990. Dietary fat and human health. In *Reducing fat in meat animals* (eds J.W. Wood y A.V. Fisher), pp. 48-65. Elsevier Applied Sci. London.
- Rouse, G.H., Topel, D.G., Veter, R.L., Rust, R.E., Wickersham, T.W., 1970. Carcass composition of lambs at different stages of development. *J. Anim. Sci.* 31, 846-855.
- Roussel, S., Hemsworth, P.H., Leruste, H., White, C., Duvaux-Ponter, C., Nowak, R., Boissy, A., 2006. Repeated transport and isolation during pregnancy in ewes: Effects on the reactivity to humans and their offspring after lambing. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 97, 172-189.
- Rousset-Akrim, S., Young, O. A., Berdague, J. L., 1997. Diet and growth effects in panel assessment of sheep meat odour and flavour. *Meat Sci.* 45, 169–181.
- Rowe, A., Macedo, F.A.F., Visentainer, J.V., Souza, N.E., Matsushita, M., 1999. Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. *Meat Sci.* 51, 283-288.

- Royas, A., Lopez-Bote, C., Rota, A., Martin, L., Rodriguez, P. L., Tovar, J. J., 1994. Fatty acids composition of Verata goat kids fed either goat milk or commercial milk replacer. *Small Rumin. Res.* 14, 61–66.
- Ruiz De Huidobro, F., Miguel, E., Cañeque, V., Velasco, S., 2005. Canal ovina. En *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa en los rumiantes)* Monografías INIA. Serie Ganadera. 3, 162.
- Ruiz De Huidobro, F., Cañeque, V., 1994. Producción de carne en corderos de raza Manchega. IV. Ecuaciones predictoras de la composición tisular de las canales. *Invest. Agr. Prod. Sanid. Anim.* 9, 71-82.
- Ruiz de Huidobro, F., Cañeque, V., 1993. Producción de carne en corderos de raza Manchega. I. Estudios de los rendimientos en canal, de las pérdidas en el matadero y de la importancia de los despojos. *Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim.* 8, 111-125.
- Ruiz De Huidobro, F., 1993. Estudios sobre crecimiento y desarrollo en corderos de raza Manchega. Tesis Doctoral. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. 191pp.
- Rule, D. C., 1997. Direct transesterification of total fatty acids of adipose tissue, and of freeze-dried muscle and liver with boron-trifluoride in metanol. *Meat Sci.* 46, 23-32.
- Russel, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G., 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci.* 72, 451–454.
- Safari, E., Hopkins, D.L., Fogarty, N.M., 2001. Diverse lamb genotypes 4. Predicting the yield of saleable meat and high value trimmed cuts from carcass measurements. *Meat Sci.* 58, 207-214.
- Sainz, R.D., Wolf, J., Upsdell, M.P., 1990. Effects of cimaterol on energy utilization for maintenance and for protein and fat deposition by whether and ewe lambs given chopped Lucerne hay or Lucerne-barley pellets. *J. Anim. Prod.* 50, 129-139.
- Sanders, T. A. B. 1996. Dietary fat and thrombosis. In K. G. Berger (Ed.), *Lipids and nutrition*. Bridgewater, UK: PJ Barnes and Associates.
- Santé-Lhoutellier, V., Engel, E., Gatellier, Ph., 2008. Assessment of the influence of diet on lamb meat oxidation. *Food Chemistry.* 109, 573-579.
- Santos Silva, J., Bessa, R. J. B., Santos-Silva, F., 2002b. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. *Liv. Prod. Sci.* 77, 187–194.
- Santos Silva, J., Mendes, I. A., Bessa, R. J. B. 2002a. The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. 1. Growth, carcass composition and meat quality. *Livest. Prod. Sci.* 76, 17–25.
- Santos, V., Azevedo, J., Silva, S., 2000. Relative growth of body and carcass components of male Ile-de-France lambs. *Rev. Portug. Zootec VII (1)*, 29–41.
- Sañudo, C., 1980. Calidad de la canal y de la carne en el ternasco aragonés. Tesis doctoral, Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza.
- Sañudo, C., Sierra, I. Olleta, J.L., Conesa, A., Alcalde, M.J. 1989. Calidad de la canal y de la carne en corederos ligeros tipo ternasco: competencia con canales de procedencia extranjera. XIV Jornadas Científicas de la SEOC, 223.
- Sañudo, C., 1991. La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina. Factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza.

- Sañudo, C. y Sierra, I., 1993. Calidad de la canal y de la carne en la especie ovina. *Ovino y Caprino. Monografías del Consejo General de Colegios Veterinarios. Madrid-España*, p. 207-254.
- Sañudo, C., Sierra, I., Alcalde, M.J., Rota, A., y Osorio, J.C., 1993. Calidad de la canal y de la carne en corderos ligeros y semipesados de las razas Aragonesa, Lacaune y Merino Alemán. In ITEA. 89A, 203-214.
- Sañudo, C., Campo, M.M., Sierra, I., María, G.A., Olleta, J.L., Santolaria, P., 1997. Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs, *Meat Sci.* 46, 357-365.
- Sañudo, C., Sanchez, A., Alfonso, M., 1998a. Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Sci.* 49, Supplement 1, 383-390.
- Sañudo, C., Sierra, I., Olleta, J.L., Martin, L., Campo, M.M., Santolaria, P. Wood, J.D., Nute, G.R. 1998b. Influence of weaning on carcass quality, fatty acid composition and meat quality in intensive lamb production Systems. *Anim. Sci.* 66, 175-187.
- Sañudo, C., Alfonso, M., San Julián, R., Thorkelsson, G., Valdimarsdottir, T., Zygoiannis, D., Stamataris, C., Piasentier, E., Mills, C., Berge, P., 2007. Regional variation in the hedonic evaluation of lamb meat from diverse production systems by consumers in six European countries. *Meat Sci.* 75, 610-621.
- Sartorelli, P., Dominoni, S., Agnes, F., 1992. Influence of duration of simulated transport on plasma stress markers in the calf. *J. Vet. Med. A.* 39, 401-403.
- Sauvant, D. y Bas, P., 2001. La digestion des lipides chez le ruminant. *INRA, Prod. Anim.* 14, 303-310.
- Sayas. M.E., 1997. Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, fisicoquímicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Scerra, M., Caparra, P., Foti, F., Galofaro, V., Sinatra, M.C., Scerra, V. 2007. Influence of ewe feeding systems on fatty acid composition of suckling lambs. *Meat Sci.* 76, 390-394.
- Schaefer, A.L., Dubeski, P.L., Aalhus, J.L., Tong, A.K.W., 2001. Role of nutrition in reducing antemortem stress and meat quality aberrations. *J. Anim. Sci.* 79 (E.Suppl.). E91-E101.
- Scharma, J.W., Van Der Hel, W., Henken, A.M., Gorssen, J. and Verstefen, M.W.A., 1994. Transport of farm animals: The thermal environment. In *Proceedings of the 40th international congress of meat science and technology, The Hague, Netherlands*, pp. 85-96.
- Schonfeld, G., Patsch, W., Rudel, L.L., Nelson, M.E., Y Olson, R.E., 1982. Effects of dietary cholesterol and fatty acids on plasma lipoproteins. *J. Clin. Invest.*, 69, 1072-1080.
- Schwarz, F. J., Augustini, C., Kirchgessner, M. 1997. Effect of grazing or indoor feeding on animal performance and carcass and meat quality of Simmental or Angus _ Simmental heifers. In: *Effects of Extensification on Animal Performance, Carcass Composition and Product Quality. Occasional Publication No.4 of Concerted Action AIR3-CT93-0947, Melle-Gontrode, Belgium*, pp. 238-247.
- Scollan, N., Hocquette, J-F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I., Moloney, A., 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci.* 74, 17-33.
- Scollan, N.D., Choi, N.J., Kurt, E., Fisher, A.V., Enser, M., Wood, J.D. 2001. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *Br. J. Nutr.* 85, 115-124.

- Sconberg, S., Nockels, C.F., Bennet, B.W., Bruynickx, W., Blancquaert, A., Craig, A.m., 1993. Effects of shipping, handling, adrenocorticotropic hormone and epinephrine on alpha tocopherol content of bovine blood. *Am. J. Vet. Res.* 54(8), 1287-1293.
- Seideman, S.C., Cross, H.R., Crouse, J.D., 1989. Variation in the sensory properties of beef as affected by sex, condition, muscle and postmortem aging. *J. Food Qual.*, 12, 39-58.
- Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Whipple, G., Wheeler, M., Miller, M.F., Crouse, J.D., Reagan, J.O., 1991. Predictors of beef tenderness: development and verification. *J. Food Sci.* 56, 1130.
- Sierra, I. 1973. Técnicas de producción ovina en el Pirineo Central. Tipos de explotación. *Anuario de la Facultad de Veterinaria-Zaragoza.* 8, 357-415.
- Sierra, I., 1988. La denominación de origen en el ternasco de Aragón. In ITEA, Vol. 66, pp. 3, Zaragoza.
- Sierra, I., 2005. Apuntes de Producción Animal. In., Fac. Veterinaria. Univ. Zaragoza.
- Simm, G., 1987. Carcass evaluation in sheep breeding programmes. In: I.F.M. Marai and J.B. Owen (Editors), *New Techniques in Sheep Production.* Butterworths. London, pp. 125-144.
- Simonne A. H., Green N. R., Bransby D. I., 1996. Consumer acceptability and β -carotene content of beef as related to cattle finishing diets. *J. Food Sci.* 61, 1254-1256.
- Smith, S.B., 1991. Dietary modification for altering fat composition of meat. In *Fats and Cholesterol Reduced Foods.* (ed M.C.E. Haberstroh C.), pp. 75. Porfolio publishing., Texas.
- Smith, D.R., 1993. Lipid composition of red meat and factors that influence risk for coronary heart disease. *Rev. Fac. Agron. (Luz)*, 10, 35-41.
- Solomon, M.B., Lynch, G.P., Berry, B.W., 1986. Influence of animal diet and carcass electrical stimulation on the quality of meat from youthful ram lambs. *J. Anim. Sci.* 62, 139-146.
- Solomon, M.B., Lynch, G.P., 1988. Biochemical, histochemical and palatability characteristics of young ram lambs as affected by diet and electrical stimulation. *J. Anim. Sci.* 66, 1955.
- Solomon, M.B., Lynch, G.P., Lough, D.S., 1992. Influence of dietary palm oil supplementation on serum lipid metabolites, carcass characteristics, and lipid composition of carcass tissues of growing ram and ewe lambs. *J. Anim. Sci.* 70, 2746- 275.
- Solomon, M.B., Berry, B.W., Fluharty, F.L., Mc Clure, K.E., 1996. Effects of energy source and ionophore supplementation on lipid composition and sensory properties of lamb. *J. Anim. Sci.* (88th Annual Meeting Abstracts) 162.
- Tatum, J., Savell, J., Cross, H., Butler, J., 1988. A national survey of lamb carcass cutability traits. *S.I.D. Res. J.* 5, 23-31.
- Teixeira A., Delfa R., Colomer-Rocher, F., 1989. Relationships between fat depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa breed. *Anim. Prod.* 49, 275-280.
- Terrell, R.N., Suess, G.G., Cassens, R.G., Bray, A.R., 1968. Broiling sex and interrelationships with carcass and growth characteristics and their effect on the neutral and phospholipid fatty acids of the bovine *Longissimus dorsi*. *J. Food Sci.* 33, 562-565.
- Thériez, M., Petit, M.; Martin-Rosset, W. 1994. Caractéristiques de la conduite des troupeaux allaitants en zones difficiles. *Ann. Zootec.* 43, 33-47.
- Thériez, M., Touraine, B., Bignerón, P., Prud'hon, M., 1992. Effect of indoor or outdoor reared on the chemical composition of lambs. *J. Anim. Prod.* 54, 389-393.
- Timon, V.M., Bichard, M., 1965. Quantitative estimates of lambs' carcass composition. 3. Carcass measurements and a comparison of the predictive efficiency of sample joint

- composition, carcass specific gravity determinations and carcass measurements. Anim. Prod. 7, 189-201.
- Torrano, L., Valderrábano, J., 2003. Capacidad de utilización de la vegetación espontánea por los rumiantes. ITEA. 99A, 145-166.
- Tove, S. B., Matrone, G., 1962. Effect of purified diets on the fatty acid composition of sheep tallow. J. Anim. Sci. 76, 271.
- Trout, G.R., 1988. Techniques for measuring water-holding capacity in muscle foods. A review of methodology. Meat Sci. 23, 235- 252.
- Tyrrell, H.F., Thomson, D.J., Waldo, D.R., Goering, H.K., Haaland, G.L., 1992. Utilization of energy and nitrogen by yearling Holstein cattle fed direct-cut alfalfa or orchardgrass ensiled with formic acid plus formaldehyde. J. Anim. Sci. 70, 3163-3177.
- Valderrabano, J. Folch, J., 1984. Producción intensiva de corderos en praderas de regadío. Primeros resultados. Ann. INIA. Serv. Ganadería, 21, 23-34 Perez-Alvarez, J.A., 1996. Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Van de Water, G., Verjans, F., Geers, R., 2003. The effect of short distance transport under comercial conditions on the physiology of slaughter calves; pH and colour profiles of veal. Livest. Prod. Sci. 82, 171-179
- Van den Ouweland, G. A. M., Peer, H. G. 1975. Components contributing to beef flavour. Volatile compounds produced by the reaction of 4-hydroxy-5-methyl-3(2H)-furanone and its thio analog with hydrogen sulfide. J. Agric. Food Chem. 23, 501-505.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.
- Velasco, S., 1999. Caracterización de los depósitos adiposos de corderos lechales en función de diversos parámetros productivos. Ph. D. Thesis, Universidad Complutense de Madrid. 232 pp.
- Velasco, S., Lauzurica, S., Cañeque, V., Perez, C., Ruiz De Huidobro, F., Manzanares, C., Diaz, M.T., 2000. Carcass and meat quality of Talaverana breed sucking lambs in relation to gender and slaughter weight. J. Anim. Sci. 70, 253-263.
- Velasco, S., Cañeque, V., Pérez, C., Lauzurica, S., Diaz, M.T., Huidobro, F., Manzanares, C., Gonzales, J. 2001 Fatty acid composition of adipose depots of suckling lambs raised under different production systems. Meat Sci. 59, 325-333.
- Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Pérez, C., Huidobro, F., 2004. Effect of different feeds on meat quality and fatty acid composition of lambs fattened at pasture. Meat Sci. 66, 457-465.
- Vergara, H. y Gallego, L., 1999. Effect of type of suckling and length of lactation period on carcass and meat quality in intensive lamb production systems. Meat Sci. 53, 211- 215.
- Vestergaard, M., Oksbjerg, N., Henckel, P., 2000. Influence of feeding intensity grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, *Longissimus dorsi* and supraspinatus muscles of young bulls. Meat Sci. 54, 177-185.
- Vézinhet, A. and Prud'hon, N., 1975. Evolution of various adipose deposits in growing rabbits and sheep. Anim. Prod. 20, 363-370.
- Vipond, J.E., Marie, S., Hunter, E.A., 1995. Effect of clover and milk in the diet of grazed lambs on meat quality. J. Anim. Sci. 60, 231-238.

- Vorster, H. H., Cummings, J. H., Jerling, J. C., 1997. Diet and haemostatic processes. *Nutr. Res. Rev.* 10, 115–135.
- Walsh, K., O’Kiely, P., Moloney, A. P., Boland, T. M., 2007. Intake, digestibility, rumen fermentation and performance of beef cattle fed diets based on wholecrop wheat or barley harvested at two cutting heights relative to maize silage or ad libitum concentrates. *Livest. Prod. Sci.* 116, 223–236.
- Warnants, N., Van Oeckel, M. J., Boucque, C. H. V. 1996. Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork tissue and its implications for the quality of the end products. *Meat Sci.* 44, 125–144.
- Warris, P.D., Kestin, S.C., Young, C.S., Bevis, E.A., Brown, S.N., 1990. Effect of pre-slaughter transport on carcass yield and indices of meat quality in sheep. *J. Sci. F. Agric.* 51, 517-523.
- Wasserman, A.E. Spinelli, A.M., 1972. Chemistry of Meat Flavor. In *Flavor chemistry of Lipid foods.* (eds M. D. y S. T.H.), pp. 166-189. American of Oil Chemist Society., Champign, Illinois.
- Westerling, D.B. Hedrick, H.B., 1979. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *J. Anim. Sci.* 48, 1343-1348.
- Wieland, H., Seidel, D., Wiegand, V., Kreuser, H., 1980. Serum lipoproteins and coronary disease (CAD). Comparison of the lipoprotein profile with the results of coronary angiography. *Atherosclerosis*, 36, 269-280.
- Williams, C.H. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech.* 49, 165-180
- Wood, J.D., McFie, H.J.H., Pomeroy, R.W., Twinn, D.J., 1980. Carcass composition in four sheep breeds: the importance of type of breed and stage of maturity. *J. Anim. Prod.* 30, 135-152.
- Wood, J.D., 1984. Fat deposition and the quality of fat tissue in meat animals. In *Fats in Animal Nutrition.* (ed J. Wiseman), pp. 407-435, Butterworths, London.
- Wood, J.D., Enser, M., Warris, P.D., 1991. Reducing fat quantity: implications for meat quality and health. In *Animal Biotechnology and the quality of meat production* (eds L.O. Fiems y B.G. Cottyn), pp. 69-84. Elsevier, New York.
- Wood, J.D., Enser, M. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *Br. J. Nutr.* 78 (Suppl. 1), S49-S60.
- Wood, J. D., Fisher, A. V. 1997. Carcass and meat quality: definitions and measurements. In: *Effects of Extensification on Animal Performance, Carcass Composition and Product Quality.* Occasional Publication No.4 of Concerted Action AIR3-CT93-0947, Melle-Gontrode, Belgium, pp. 30–38.
- Wood J. D., Richardson R. I., Nute G. R., Fisher A. V., Campo M. M., Kasapidou E., Sheard P. R. and Enser M., 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66, 21–32.
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, S.I., Whittington, F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78, 343-358.
- Yang, A., Larsen, T. W., Tume, R. K., 1992. Carotenoid and retinal concentrations in serum, adipose tissue and liver and carotenoids transport in sheep, goats and cattle. *Aust. J. Agr. Res.* 43, 1809–1817.

-
- Young, O.A., Berdagu'e, J.L., Viallon, C., Rousset-Akrim, S., Theriez, M., 1997. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. *Meat Sci.* 45, 183–200.
- Zervas G, Hadjigeorgiou I, Zabeli G, Koutsotolis K, Tziala C., 1999 Comparison of a grazing-with an indoor-system of lamb fattening in Greece. *Livest. Prod. Sci.* 61, 245-251.
- Zervas, G., 1995. Beef, sheep and goat production systems and extensification in Greece. In: Keane, M.G., Pflimlin, A. (Eds.), *Proceedings of A Workshop Held in Paris On November 22, 23 and 24, 1995. production and breeding in the Mediterranean basin; strategies and 24, 1995.*
- Ziprin, Y.A., Rhee, K.S., Davidson, T.L., 1990. Characteristics of pork products from swine fed a high monounsaturated fat diet. Part 3. A high-fat cured product. *Meat Sci.*
- Zygoiannis, D., Stamataris, K., Kouimtzis, S., Y Doney, J.M., 1990. Carcass composition in lamb of Greek dairy breeds of sheep. *Anim. Prod.* 50, 261-269.