

Departamento de Ciencias Agroforestales
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
UNIVERSIDAD DE SEVILLA



TESIS DOCTORAL

Programa: Ingeniería agraria, alimentaria, forestal y del desarrollo rural sostenible

Parámetros de calidad y características sensoriales de la carne de terneros de raza Retinta criados en dos modelos de producción ecológica

Adoración López Gajardo
Junio, 2018

Directores:

Dra. Susana García Torres

Dr. Alberto Horcada Ibáñez

Departamento de Ciencias Agroforestales
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Programa: Ingeniería agraria, alimentaria, forestal y del desarrollo rural sostenible

Parámetros de calidad y características sensoriales de la carne de terneros de raza Retinta criados en dos modelos de producción ecológica

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL

Para aspirar al grado de doctora por la Universidad de Sevilla y presentada por la Licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Dña. Adoración López Gajardo.

La Doctoranda

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, representing the name Adoración López Gajardo.

Fdo.: Adoración López Gajardo

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Dña. SUSANA GARCÍA TORRES, investigadora del Área de Calidad y Tecnología de la Carne del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (Instituto de Investigaciones Agrarias Finca La Orden-Valdesequera) y D. ALBERTO HORCADA IBÁÑEZ, Profesor Titular de Universidad del Departamento de Ciencias Agroforestales (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica) de la Universidad de Sevilla,

INFORMAN:

Que la Tesis Doctoral titulada “PARÁMETROS DE CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DE LA CARNE DE TERNEROS DE RAZA RETINTA CRIADOS EN DOS MODELOS DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICA”, que se recoge en la siguiente memoria y de la que es autora Dña. ADORACIÓN LÓPEZ GAJARDO, licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, ha sido realizada bajo nuestra dirección cumpliendo las condiciones exigidas para que la misma pueda optar al Grado de Doctor.

Lo que suscribimos como Directores de dicho trabajo y a los efectos oportunos en Sevilla a 29 de junio de 2018.

Fdo. Susana García Torres

Área de Calidad y Tecnología de la Carne
CICYTEX La Orden-Valdesequera

Fdo. Alberto Horcada Ibáñez

Departamento de Ciencias Agroforestales
Universidad de Sevilla

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Programa: Ingeniería agraria, alimentaria, forestal y del desarrollo rural sostenible

Departamento de Ciencias Agroforestales

TÍTULO DE LA TESIS: PARÁMETROS DE CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DE LA CARNE DE TERNEROS DE RAZA RETINTA CRIADOS EN DOS MODELOS DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICA.

AUTORA: Adoración López Gajardo D.N.I.: 76.262.808-Y

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

Esta Tesis se ha desarrollado correctamente en tiempo y en forma y ha dado lugar a 2 artículos ya publicados y otros pendientes de publicación. El primer artículo ha sido publicado en 2016 en la revista Meat Science, 114, 114-120. El segundo ha sido publicado en 2017 en la revista Spanish Journal of Agricultural Research, 15 (4), 1-11. No hay que destacar ninguna circunstancia desfavorable.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la Tesis Doctoral.

Fdo. Susana García Torres

Fdo. Alberto Horcada Ibáñez

Área de Calidad y Tecnología de la Carne
CICYTEX La Orden-Valdealsequera

Departamento de Ciencias Agroforestales
Universidad de Sevilla

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Programa: Ingeniería agraria, alimentaria, forestal y del desarrollo rural sostenible

Departamento de Ciencias Agroforestales

TÍTULO DE LA TESIS: PARÁMETROS DE CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DE LA CARNE DE TERNEROS DE RAZA RETINTA CRIADOS EN DOS MODELOS DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICA.

AUTORA: Adoración López Gajardo

D.N.I.: 76.262.808-Y

La Tesis Doctoral realizada es fruto de un trabajo de investigación que aborda y desarrolla distintos aspectos de la calidad de la carne de terneros de la raza Retinta criados bajo diferentes modelos de producción ecológica. La Tesis Doctoral se ha estructurado abordando los siguientes apartados y capítulos:

- Resumen.
- Abstract.
- Introducción.
- Revisión bibliográfica.
- Objetivos: Se han planteado un objetivo general y cinco objetivos específicos.
- Resultados y discusión: Los resultados están divididos en cuatro capítulos.
- Artículos publicados:
 - Artículo 1: García-Torres, S., López-Gajardo, A. and Mesías, F.J. (2016). Intensive vs. free-range organic beef. A preference study through consumer liking and conjoint analysis. Meat science, 114, 114-120.

- Artículo 2: Horcada Ibáñez, A., López Gajardo, A., Polvillo Polo, O., Pino Mejías, R., Cubiles de la Vega, M., Tejerina, D. and García-Torres, S. (2017). Fatty acid profile as a tool to trace the origin of beef in pasture- and grain-fed young bulls of Retinta breed. Spanish Journal of Agricultural Research, 15 (4), 1-11.

- Conclusiones generales.
- Referencias bibliográficas.

En resumen, consideramos que la originalidad, grado de innovación y calidad científica de la Tesis Doctoral que se presenta cumple los requisitos para ser defendida, y por todo ello, autorizamos la Presentación y Defensa de esta Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctora.

Sevilla, a 29 de junio de 2018

Firma de los directores:



Fdo. Susana García Torres



Fdo. Alberto Horcada Ibáñez

VºBº de la Directora del departamento responsable del Programa de Doctorado:

Dña. María Paz Suarez
Directora del departamento de Ciencias Agroforestales
Universidad de Sevilla

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Programa: Ingeniería agraria, alimentaria, forestal y del desarrollo rural sostenible

Departamento de Ciencias Agroforestales

Los trabajos experimentales que conforman la presente Tesis Doctoral han sido financiados por los Proyectos:

“Estudio de la viabilidad de distintos modelos de producción de carne bovina ecológica: Influencia en la calidad de la carne y Análisis económico”

Entidad financiadora: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). RTA2009-00122-C03-00

Fecha de inicio-fin: 01/01/2009 - 01/01/2012

Título del proyecto: “Producción y caracterización de carne de terneros Retintos en diferentes sistemas de producción ecológicas”

Entidad financiadora: FEDER-Junta de Extremadura. LOI1205013/4

Fecha de inicio-fin: 01/01/2012 - 01/01/2013

Agradecimientos

En primer lugar, mis agradecimientos van dirigidos hacia los directores de esta tesis, la Dra. Susana García Torres y el Dr. Alberto Horcada Ibáñez, por haberme introducido en el mundo de la Investigación, por su guía, dedicación, por compartir conmigo su saber científico durante estos años y por haberme animado a seguir en momentos bajos. Al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), por darme la oportunidad de iniciar mi formación en un campo tan enriquecedor como es el de la Investigación, tras la concesión de una beca predoctoral.

Al Departamento de Producción Animal del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX-La Orden) de la Junta de Extremadura. A todas las personas que de una forma u otra han sumado en este proceso, y también a aquellas que han restado, porque todas me han ayudado a crecer, a aprender y a ganar confianza. De forma muy especial mi profunda gratitud a todas mis compañeras del Laboratorio de Calidad de Carne, de manera más entrañable a Cati, por tu gran ayuda y experiencia fruto de años de trabajo, a Palmira, por tu generosidad, a Laura, María Cabeza de Vaca y Eli, por vuestra asistencia prestada en el desarrollo de la parte experimental de esta tesis, y por los ratos de despacho compartido. Una parte de este trabajo ha sido fruto de cada una de vosotras, aportando en el día a día ánimo y fuerzas para que todo saliera adelante. Especial mención a mi “científica favorita”, ahora profesora y grandísima amiga Vita Parra, por servirme de ejemplo en todos los pasos que he ido dando. Ya sabes que yo de mayor quiero ser como tú. Espero poder alcanzarte algún día, y mientras tanto, seguir aprendiendo de ti.

Asimismo, quiero agradecer a Mamen Olivan por el apoyo profesional, personal y moral demostrado, por su acogida, sus palabras y el buen trato prestado durante mi estancia en el Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Gracias también a su equipo de laboratorio por haberme cedido espacio, haberme hecho sentir como una más y agasajarme con sus conocimientos en el apasionante mundo de la calidad de la carne y el buen hacer en las técnicas de laboratorio. Fue un placer trabajar con vosotras y una suerte enorme que aparecierais en mi camino. A Verónica Sierra, por su ayuda con los geles. A Alicia por darme cobijo y hacer que Asturias fuera mi segundo hogar.

A todas las personas que, durante la realización de esta tesis, me han prestado su apoyo y cedido parte de su tiempo: al personal del INTAEX que colaboró en las sesiones de cata, a los trabajadores del campo de Valdesequera y mataderos por haber colaborado y por la atención y paciencia demostrada, a los ganaderos y demás personal de la Cooperativa Divino Salvador de Vejer de la Frontera y de la Excma. Diputación de Cádiz. A Mayte Batalla por sumar purpurina y energía de la buena en la fase final.

No puedo dejar de agradecer a mis viejas amigas y a las recién llegadas los momentos de diversión y aprendizaje emocional. Muchas gracias Gema, eres la persona más sana, en el sentido más amplio de la palabra, que he encontrado en mi vida, amiga. A mi pelirroja, porque a la meta se llega si emprendes el camino y los inicios comenzaron a tu lado, entre horas de clase, horas de piso, confesiones, ilusiones, esperanzas, tés, ...

A mi familia, y en especial a mi tita y a Jose, que han estado conmigo y me han animado a seguir adelante, por confiar en mí infinito, por ser toda oídos y paciencia, por apoyarme a seguir y comprenderme en los momentos en los que la única opción era tirar la toalla. A Carmen, por ser vehículo de una frase que ha hecho que me levante después de cada tropiezo y porque la quiero, es todo un honor compartir con ella nuestra media naranja. A mis padres, que me enseñaron el significado de la palabra trabajar, compromiso y honestidad...ellos van en cada suspiro. De manera muy especial a la persona que nació con la misión de darnos una lección de vida: a mi querido hermano, por ser, por estar, por querer, por creer. Los tres sois para mí la palabra AMOR en todas sus dimensiones.

A Belén, estimada amiga, generosa compañera de trabajo e inteligente tertulia de momentos. Este documento no habría sido sin ti, por tus horas, por tu apoyo, por tu confianza, por tus teclas y por tus ojos. Por toda tú, nunca habrá dinero dentro de ninguna hucha maltrecha ni palabras biensonantes que puedan pagar tanto amor. El alma del documento es tuya, infinitas gracias.

Y a todos y todas los que de una manera u otra habéis estado cerca en los momentos de escritura, por vuestra eterna paciencia e incondicional cariño, muchas gracias. Hoy no he llegado a la M.E.TA. sino que es una etapa más. Porque tanto si crees que puedes como si crees que no puedes estás en lo cierto. GRACIAS.

A mi padre, a mi madre, a mi hermano...

a mi abuela

Índice

Índice general

Índice general	XIX
Índice de tablas	I
Índice de figuras	III
Glosario de abreviaturas y unidades	VII
Resumen.	XIII
Abstract.	XV
1. Introducción	1
1.1. Marco legal de la producción ganadera ecológica.....	2
1.1.1. Legislación europea.	2
1.1.2. Legislación española.	4
1.2. Principios técnicos de la ganadería ecológica.	6
1.3. Modelos productivos de la ganadería ecológica.	14
1.4. Las cifras de la ganadería bovina ecológica en España.	16
1.5. Principales factores para el desarrollo de la producción ganadera bovina ecológica en España.	18
1.5.1. El ecosistema.....	19
1.5.2. La climatología.	20
1.5.3. La raza.....	20
1.6. La certificación ecológica.....	22
1.7. El consumo de productos ecológicos en España.	25
2. Revisión bibliográfica	31
2.1. La carne.	31
2.1.1. La fibra muscular.	31
2.1.2. Las proteínas musculares.	34
2.2. Conversión del músculo en carne.	35
2.3. La calidad de la carne.	36
2.4. Parámetros para determinar la calidad de la carne.	37
2.4.1. El pH de la carne.	38
2.4.2. El color de la carne.....	39
2.4.3. La Capacidad de Retención de Agua de la carne.....	41

2.4.4. La textura de la carne. Propiedades reológicas.....	42
2.4.5. La grasa de la carne.....	47
2.4.6. Las propiedades sensoriales de la carne.....	47
2.5. La carne ecológica, aspectos físico-químicos y valoración por los consumidores.....	48
3. Objetivos.....	55
4. Material, métodos y diseño experimental.....	59
4.1. Material animal.....	59
4.1.1. Ecológico de pasto (EP).....	59
4.1.2. Ecológico de cebo (EC).	60
4.1.3. Cebo convencional (CC).....	61
4.2. Controles productivos.....	62
4.3. Sacrificio de los animales.	63
4.4. Métodos analíticos.	65
4.4.1. Preparación de las muestras.	65
4.4.2. Determinaciones analíticas.	66
4.5. Análisis estadístico.	68
5. La composición proximal de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.	71
5.1. Resumen.	71
5.2. Introducción.....	71
5.3. Material y métodos.	73
5.3.1. Preparación de las muestras.	74
5.3.2. Composición química.	74
5.3.3. Análisis estadístico.....	76
5.4. Resultados y discusión.....	76
5.5. Conclusiones.....	79
6. El color de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.....	83
6.1. Resumen.	83
6.2. Introducción.....	83

6.3. Material y métodos.	85
6.3.1. Preparación de las muestras.	86
6.3.2. Contenido de mioglobina.	86
6.3.3. Color instrumental.	86
6.3.4. Determinación de α -tocoferol.	87
6.3.5. Análisis estadístico.	88
6.4. Resultados y discusión.	88
6.4.1. Contenido de mioglobina.	88
6.4.2. Color instrumental.	89
6.5. Conclusiones.	96
7. La textura de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.	101
7.1. Resumen.	101
7.2. Introducción.	102
7.3. Material y métodos.	103
7.3.1. Preparación de las muestras.	104
7.3.2. Determinación del pH.	105
7.3.3. Capacidad de Retención de Agua.	105
7.3.4. Textura instrumental.	106
7.3.5. Análisis histológico de las fibras musculares.	107
7.3.6. Análisis estadístico.	108
7.4. Resultados y discusión.	108
7.4.1. pH.	108
7.4.2. Capacidad de Retención de Agua.	110
7.4.3. Textura instrumental.	115
7.4.4. Análisis histológico de las fibras musculares.	123
7.5. Conclusiones.	126

8. Las propiedades sensoriales de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.	129
8.1. Resumen.	129
8.2. Introducción.....	129
8.3. Material y métodos.	132
8.3.1. Preparación de las muestras.	133
8.3.2. Panel de catadores entrenados.....	134
8.3.3. Estudio de consumidores.	136
8.3.4. Análisis estadístico.....	139
8.4. Resultados y discusión.....	140
8.4.1. Panel de catadores entrenados.....	140
8.4.2. Estudio de consumidores.	141
8.5. Conclusiones.....	146
9. Conclusiones generales.	151
Referencias bibliográficas.	155
Anexos. Publicaciones	184

**Índice de tablas, figuras y glosario de
abreviaturas y unidades**

Índice de tablas

Tabla 1. Número máximo de animales por hectárea (equivalente a 170 kg N ₂ /ha/año) en producción ecológica.....	11
Tabla 2. Superficie mínima interior y exterior de alojamiento establecida para la cría de la especie bovina de producción ecológica, según categorías de animales.....	15
Tabla 3. Principios prioritarios de la producción ecológica en extensivo vs. la producción ecológica en intensivo.....	16
Tabla 4. Evolución (2010-2015) del número de cabezas (miles) de ganado productor de carne ecológica en España.....	17
Tabla 5. Diámetro medio de la fibra muscular del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de diferentes especies de animales de abasto.....	32
Tabla 6. Definiciones y análisis dimensional de los parámetros del test de Warner-Bratzler.....	45
Tabla 7. Descripción de los parámetros de textura obtenidos mediante el análisis de perfil de textura.....	46
Tabla 8. Análisis comparativo entre la valoración sensorial e instrumental de la carne.....	48
Tabla 9. Distribución de ingredientes (%) y composición nutricional de las dietas suministradas en los diferentes lotes.....	62
Tabla 10. Distribución del número de animales en los lotes de estudio.....	62
Tabla 11. Descriptores productivos (media y error estándar) de los terneros de raza Retinta del estudio.....	63
Tabla 12. Descriptores (media y error estándar) de las características de la canal de los terneros de raza Retinta del estudio.....	64
Tabla 13. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la composición proximal de la carne de terneros de raza Retinta.....	77
Tabla 14. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre el contenido de mioglobina (mg mioglobina/g carne fresca) de la carne de terneros de raza Retinta.....	88
Tabla 15. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) y del tiempo de maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros de color instrumental de la carne de los terneros de raza Retinta.....	90

Tabla 16. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre el contenido en α -tocoferol ($\mu\text{g } \alpha\text{-tocoferol/g}$ carne fresca) de la carne de terneros de raza Retinta.....	96
Tabla 17. Efecto del sistema de producción (EP=ecología de pasto, EC=ecología de cebo y CC=cebo convencional) y del tiempo de maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre pH y los parámetros de capacidad de retención de agua (pérdidas por goteo y pérdidas por cocinado) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	109
Tabla 18. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros de textura instrumental (WB) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	115
Tabla 19. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros del Análisis de Perfil de Textura (TPA20) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	119
Tabla 20. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros histológicos de las fibras musculares (longitud de los sarcómeros y área de las fibras musculares) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	124
Tabla 21. Definición y extremos de los atributos sensoriales de la carne de ternera, en fresco y cocinada, empleada en el panel de catadores entrenados.....	135
Tabla 22. Efecto del sistema de producción (EP=ecología de pasto, EC=ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la valoración sensorial del olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días mediante un panel de catadores entrenados (escala de 10 puntos).....	140
Tabla 23. Efecto del sistema de producción (EP=ecología de pasto, EC=ecología de cebo y CC=cebo convencional) sobre la valoración sensorial del color de la carne fresca y el olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días mediante un estudio de consumidores (escala de 10 puntos).....	142

Índice de figuras

Figura 1. Ganado vacuno de raza Retinta en la dehesa.....	19
Figura 2. Ejemplar de ternero de la raza Retinta.....	21
Figura 3. Logotipo para el etiquetado e identificación de los productos ecológicos de la Unión Europea utilizado desde el año 2000 hasta el 2010.....	24
Figura 4. Logotipo para el etiquetado e identificación de los productos ecológicos de la Unión Europea utilizado a partir del año 2010.....	24
Figura 5. Logotipo para el etiquetado e identificación de los productos ecológicos de Andalucía (a) y Extremadura (b).....	25
Figura 6. Consumo interior de productos ecológicos en España.....	26
Figura 7. Esquema de las unidades estructurales del músculo esquelético (fibras musculares y miofibrillas).....	33
Figura 8. Representación esquemática de una unidad de sarcómero de la fibra muscular. (a) Segmento de una fibra muscular, (b) Miofibrilla o fibrilla.....	33
Figura 9. Representación esquemática del Sistema CIELab (CIE L*a*b*, 1986) y sus coordenadas C* y H°.....	39
Figura 10. Reacciones químicas que ocurren entre las formas básicas de la mioglobina dependiendo del estado oxidativo del hierro del grupo hemo.....	40
Figura 11. Representación gráfica de los parámetros obtenidos en un test de Warner-Bratzler.....	44
Figura 12. Gráfico representativo de un análisis de perfil de textura en una muestra de carne.....	46
Figura 13. Terneros de raza Retinta del lote Ecológico de Pasto.....	59
Figura 14. Terneros de raza Retinta del lote Ecológico de Cebo.....	60
Figura 15. Terneros de raza Retinta del lote Cebo convencional.....	61
Figura 16. Diagrama de los cortes realizados en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> destinados a los cuatro tiempos de maduración (T ₀ , T ₇ , T ₁₄ y T ₂₁) y futuros análisis de la carne de terneros de raza Retinta.....	65
Figura 17. Distribución de las determinaciones analíticas realizadas en cada uno de los días de maduración de la carne (T ₀ , T ₇ , T ₁₄ y T ₂₁) de terneros de raza Retinta.....	67
Figura 18. Esquema del material y métodos para la evaluación de parámetros de composición proximal de la carne fresca de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de pienso (EC) y cebo convencional (CC).....	73

Figura 19. Esquema del material y métodos para la evaluación de parámetros relacionados con el color de la carne fresca de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC).....	85
Figura 20. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color L* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	91
Figura 21. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color a* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	92
Figura 22. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color b* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	93
Figura 23. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color C* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	94
Figura 24. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color H° en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	95
Figura 25. Esquema del material y métodos para la evaluación de parámetros relacionados con la textura de la carne fresca y cocinada de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC).....	104
Figura 26. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre las pérdidas de agua por goteo (%) y el tiempo de maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	112
Figura 27. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre las pérdidas de agua por cocinado (g/100 g de carne fresca) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	114
Figura 28. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre fuerza máxima (kg) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	117
Figura 29. Efecto del sistema de producción (EP=Ecología de pasto, EC=Ecología de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la masticabilidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$) (TPA20) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	121

Figura 30. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la resiliencia (adimensional) (TPA20) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	122
Figura 31. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la cohesividad (adimensional) (TPA20) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.....	123
Figura 32. Fotografía al microscopio (modelo Eclipse 50i) (x100) con contraste de fases de una fibra muscular de carne de un ternero de raza Retinta criado en el sistema de producción ecológico de Pasto (EP).....	124
Figura 33. Esquema del material y métodos para la evaluación de parámetros relacionados con las propiedades sensoriales de la carne fresca y cocinada de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC).....	133
Figura 34. Cuestionario utilizado por los catadores entrenados para valorar la intensidad de los atributos sensoriales de la carne cocinada de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC) en el panel de catadores entrenados.....	136
Figura 35. Estímulo utilizado para la evaluación del color de la carne en fresco de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC) en el estudio de consumidores.....	137
Figura 36. Cuestionario utilizado para valoración de la aceptabilidad de la carne fresca y cocinada de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC) en el estudio de consumidores.....	138
Figura 37. Encuesta de hábitos de consumo de diferentes tipos de carne.....	139
Figura 38. Representación gráfica de la valoración sensorial del panel de catadores entrenados de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días y obtenida a partir de los sistemas de producción ecológico a pasto (EP), ecológico a pienso (EC) y producción convencional (CC).....	141
Figura 39. Representación gráfica de la valoración sensorial de consumidores de la carne de terneros de raza Retinta (fresca y cocinada) y obtenida a partir de los sistemas de producción ecológico a pasto (EP), ecológico a pienso (EC) y producción convencional (CC).....	145

Glosario de abreviaturas y unidades

μm	Micrómetro
μm^2	Micrómetro cuadrado
a*	Índice de rojo
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
AGPI	Ácidos grasos poliinsaturados
AGS	Ácidos grasos saturados
ANOVA	Análisis de la varianza
AOAC	Association of Analytical Communities
Arctan	Arcotangente
ATP	Adenosín trifosfato
b*	Índice de amarillo
BHT	Butilhidroxitolueno
C*	Croma o saturación
CC	Cebo convencional
CE	Comunidad Europea
CEE	Comunidad Económica Europea
CICYTEX	Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura
CIE	Commission Internationale d'Eclairage (Comisión Internacional de la Iluminación)
CLA	Ácido linoleico conjugado
cm	Centímetro
cm^2	Centímetro cuadrado
cm^3	Centímetro cúbico
CRA	Capacidad de retención de agua
CRAE	Comisión Reguladora de Agricultura Ecológica
Ctra.	Carretera
DFD	Dark, firm and dry (oscura, dura y seca)
DO	Densidad óptica
Dpto.	Departamento
EC	Ecológico de cebo
EEM	Error estándar de la media

EP	Ecológico de pasto
<i>et al.</i>	Y otros
etc.	Etcétera
EtOH	Etanol
Excma.	Excelentísima
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Fe ²⁺	Forma reducida del hierro
Fe ³⁺	Forma oxidada del hierro
g	Gramo
GMD	Ganancia de peso media diaria
h	Hora
ha	Hectárea
H ⁺	Átomo de hidrógeno
H ₂ O	Agua
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido clorhídrico
H ^o	Hue o tono
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución
IC	Índice de conversión
IFOAM	Federación Internacional de los Movimientos de Agricultura Ecológica
INTAEX	Instituto Tecnológico Agroalimentario del Gobierno de Extremadura
ISO	International Organization of Standardization
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
KOH	Hidróxido de potasio
L*	Luminosidad
LD	<i>Longissimus dorsi</i>
log	Logaritmo
M	Molar
m	metro
m ²	Metro cuadrado

MAGRAMA	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente
MAPAMA	Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente
Mb	Mioglobina
MbO ₂	Oximioglobina
mg	Miligramo
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MMb	Metamioglobina
N	Norte
N ₂	Nitrógeno
n-3	Ácidos grasos omega 3
n-6	Ácidos grasos omega 6
NaOH	Hidróxido sódico
nm	Nanómetros
ns	No significativo
O ₂	Oxígeno
°C	Grado centígrado
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Peso de la muestra
<i>p</i>	p-valor
PAC	Política Agrícola Común
PC	Peso de la cápsula
PCC	Peso de la canal caliente
PF	Peso final
pH _u	pH último
PI	Peso inicial
PM	Peso del matraz
PMG	Peso del matraz con grasa extraída
PS	Peso de sacrificio
PSE	Pale, soft and exudative (pálida, blanda y exudativa)
RC	Rendimiento de la canal
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundo

S.L.	Sociedad Limitada
SP	Sistema de producción
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
T ₀	Día 0 de maduración
T ₇	Día 7 de maduración
T ₁₄	Día 14 de maduración
T ₂₁	Día 21 de maduración
TM	Tiempo de maduración
TPA	Análisis de Perfil de Textura
TPA20	Análisis de Perfil de Textura con 20% de compresión
UE	Unión Europea
UNE	Una Norma Española
UV	Ultravioleta
V	Voltio
v/v	Volumen/volumen
Vol	Volumen
vs.	Versus
W	Vatio
WB	Warner-Bratzler
λ	Longitud de onda

Resumen y Abstract

Resumen.

Con la idea de conocer los parámetros de calidad y las características sensoriales de la carne y evaluar la influencia de dos modelos de producción ecológica sobre la maduración de la carne durante 21 días se emplearon 90 terneros machos enteros de raza Retinta agrupados aleatoriamente en tres lotes experimentales (n=30 en cada lote) bajo tres sistemas de producción diferentes: dos modelos de producción ecológica, basado el primero en la disponibilidad de pasto y el segundo en gran cantidad de forraje y alimento concentrado frente a un modelo de producción convencional basado en el aporte de alimento concentrado a voluntad y forraje.

El sistema de producción se consideró como determinante en la calidad instrumental y sensorial de la carne de terneros de raza Retinta. Así, la carne de los animales ecológicos criados en pastoreo, y por tanto, con gran disponibilidad de espacio para hacer ejercicio presentó mayor humedad, proteína total y cenizas, y menor contenido de grasa que la carne de los animales criados en los sistemas de producción basados en el aporte de alimento concentrado ecológico o convencional y espacio para el ejercicio más limitado. A su vez, la carne ecológica de animales en pastoreo presentó mayor contenido de mioglobina y fue más luminosa, con mayor tonalidad que la de los animales que recibieron alimento concentrado ecológico o convencional. La carne ecológica presentó menor valor de pH, y a su vez, menores pérdidas de agua por goteo y mayores pérdidas de agua durante el cocinado que la carne de producción convencional. Además, el test de Warner-Bratzler mostró que la carne ecológica de los animales alimentados con pasto y amplia disponibilidad de espacio para el ejercicio resultó ser más dura que las carnes producidas en base al uso fundamentalmente de alimento concentrado ecológico o convencional y limitación de espacio para el ejercicio. Las propiedades reológicas debidas a la estructura miofibrilar (análisis de perfil de textura TPA20) mostraron mayor masticabilidad, resiliencia y cohesividad en la carne de los animales que pastorearon frente a los animales que recibieron alimento concentrado. En referencia a las características histológicas de la carne, el sistema de producción afectó significativamente a la estructura fibrilar mostrando la carne de los animales de producción ecológica basada en pastoreo menor longitud del sarcómero y mayor área de fibra muscular que los animales de los modelos ecológico o convencional alimentados con grano y en espacio limitado para el ejercicio. De otra parte, el panel de catadores entrenados indicó que los sistemas de producción afectaron significativamente a la terneza, la jugosidad y la

apreciación global de la carne siendo la procedente de los animales criados a base de alimento concentrado ecológico la valorada como más tierna y de mejor apreciación global. En cuanto al estudio de consumidores, la carne ecológica procedente de los terneros criados con pasto ecológico y libertad de espacio para hacer ejercicio fue valorada con la mejor nota de color. Sin embargo, esta carne fue valorada con la menor nota de ternura, jugosidad, sabor y apreciación global de entre todas las carnes valoradas por los consumidores.

Se evidenció que el proceso de maduración de la carne durante 21 días afectó a los parámetros de color y de textura de la carne de los terneros de raza Retinta criados en los tres modelos de producción propuestos. Así, durante el tiempo de maduración controlada durante tres semanas, la carne de los terneros de raza Retinta aumentó el índice de amarillo, la tonalidad, el valor de pH y las pérdidas de agua por goteo. Sin embargo, las pérdidas de agua por cocinado fueron disminuyendo progresivamente hasta los 14 días de maduración de la carne para seguidamente no mostrar diferencias. En cuanto a la textura de la carne, también el tiempo de maduración tuvo un efecto significativo en todos los parámetros estudiados, encontrándose un aumento de la ternura hasta los 14 días de maduración. Desde este momento no se observaron diferencias en el comportamiento reológico de la carne obtenida a partir de cualquiera de los sistemas de producción propuestos. Las características histológicas de la carne presentaron una evolución significativa en los 21 días de maduración. En cuanto a las características de los sarcómeros en todos los sistemas de producción propuestos, se observó un aumento progresivo de la longitud hasta los 21 días de maduración, mientras que el área de las fibras musculares analizadas fue disminuyendo hasta el final del proceso.

En base a los resultados obtenidos, cumpliendo con el Reglamento CE 834/2007 se ha propuesto un nuevo modelo de producción ecológica basado en el aporte de alimento concentrado, alta cantidad de forraje en cebadero y menor necesidad de espacio para el ejercicio de los animales. Este nuevo modelo de producción obtiene carne que atiende a las necesidades de los consumidores concienciados con una producción más respetuosa con el bienestar animal y que además puede reducir costes de producción para los ganaderos y minimizar el impacto ambiental.

Abstract.

The purpose of this work is to ascertain the quality parameters and the sensory attributes of beef as well as evaluating the influence of two models of organic production on its ageing during 21 days. With this goal, 90 uncastrated male Retinta breed calves were randomly grouped in three experimental lots ($n = 30$ in each lot) under three different production systems. The first two systems were two models of organic production: the first based on the availability of grass and the second on a large amount of forage and concentrated feed. The third of the systems was a conventional production model based on concentrated feed *ad libitum* and forage.

These productions systems were considered decisive in the instrumental and sensory quality of the meat of the Retinta breed calves. Thus, the beef of the free-range raised livestock that, therefore, had a greater availability of space for exercise, presented higher moisture, total protein, and ash, as well as lower fat content than the meat of the animals reared in production systems based on organic or conventional concentrate within limited space for exercise. Correspondingly, the organic beef of free-range raised animals showed a higher content of myoglobin, higher content of L^* parameter and a higher tonality than that of the animals that received organic or conventional concentrate. Organic beef also evinced a lower pH value and, in turn, lower drip losses and higher cooking losses than beef of conventional production. In addition, the Warner-Bratzler test showed that the organic meat of grass-fed animals with plentiful availability of space for exercise proved to be less tender than beef produced primarily using organic or conventional concentrate and limited space. Moreover, the rheological properties of the myofibrillar structure (texture profile analysis TPA20) showed greater chewiness, resilience and cohesiveness in the meat of the animals fed on grass compared to the animals fed on concentrate. Concerning the histological characteristics of beef, the production system significantly affected the fibrillar structure. As a consequence, the meat of the organic animals fed on grass showed a shorter sarcomere and a greater area of muscle fibre than the animals reared in organic or conventional models and fed on concentrate within a limited space. On the other hand, the panel of trained tasters stated that the production systems significantly affected tenderness, juiciness and the overall assessment of the beef, being the one coming from the animals reared with organic concentrate assessed as the most tender and receiving a better overall assessment. Regarding the study with consumers, organic meat from calves fed on grass with great

availability of space for exercise was assessed with the best colour score. However, this beef was assessed with the lowest score of tenderness, juiciness, taste and overall assessment of all the beef in the tastings.

Moreover, this study evidenced that the process of ageing of the beef during 21 days affected the colour and texture parameters of the meat of the Retinta breed calves reared in these three proposed production models. Thus, during this period of controlled ageing, the beef of the Retinta calves increased its yellow index, tonality, pH value and drip losses. Conversely, the cooking losses were gradually decreasing up to the 14th day of the process to subsequently show no difference. Concerning the texture of the beef, the ageing also had a significant effect on all the parameters studied, with an increase in tenderness until the 14th day. From this moment, no differences were observed in the rheological behaviour of the beef obtained from any of the proposed production systems. The histological characteristics of the beef also presented a significant evolution during these 21 days. Regarding the characteristics of the sarcomeres in all the proposed production systems, a progressive increase in length was observed during the 21 days of ageing, whereas the area of muscle fibres analysed decreased until the end of the process.

Based on the results obtained and complying with the Council Regulation (EC) No 834/2007, a new model of organic production based on the supply of concentrate, high amount of forage in feed-lot and less need for space for exercise is proposed here. This new production model obtains beef that meets the needs of consumers aware of a production that is more respectful of animal welfare, reduces production costs for farmers and minimizes environmental impact.

Capítulo 1.
Introducción

1. Introducción.

Con la llamada ganadería ecológica se presenta un modelo productivo que debe ser concebido como un sistema general de gestión agrícola y producción de alimentos que combine adecuadamente las mejores prácticas ambientales, abogue por un elevado nivel de biodiversidad, priorice la preservación de recursos naturales y respete y aplique las diversas normas exigidas sobre bienestar animal y producción destinadas a satisfacer las preferencias de determinados consumidores por productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales (Reglamento CE 834/2007).

Los métodos de producción ecológicos desempeñan un papel social doble, aportando, por un lado, productos ecológicos a un mercado específico que responda a la demanda de los consumidores y, por otro, bienes públicos que contribuyan a la protección del medioambiente y a un desarrollo social sostenible, maximizando el bienestar animal. En los sistemas de producción ecológica la máxima es producir animales en régimen de libertad de pastoreo, que les permitirá satisfacer sus necesidades vitales y desarrollar sus potencialidades productivas y conductas sociales propias de la especie (MAPAMA, 2018).

El cambio de hábitos en la alimentación y las crecientes exigencias medioambientales y de seguridad alimentaria que demandan los consumidores hacen que los sistemas de producción animal y comercialización de productos de calidad diferenciada obtenidos mediante sistemas de producción compatibles con el desarrollo sostenible del entorno, vayan adquiriendo una progresiva importancia en la sociedad actual.

Actualmente, los consumidores muestran una creciente preocupación en temas relacionados, directa e indirectamente con su salud, y con una creciente sensibilización por el sostenimiento del medioambiente. Este hecho se vislumbra, en el ámbito que nos ocupa, en la implementación de técnicas en modo alguno agresivas al bienestar animal y convergentes hacia la protección de las pequeñas explotaciones ganaderas ligadas eficientemente a las comunidades rurales en las que deben desarrollar su labor. Por tanto, la motivación y la actitud de los productores son factores clave en la reorientación de los sistemas de producción convencional en otros a los que se puede asignar la etiqueta de “ecológico”. En este contexto, el cambio de mentalidad por el productor debe ser visto

como una oportunidad de transferir a sus negocios una atractiva viabilidad ligada al futuro. Para ello deben proponerse nuevos diseños y estrategias que permitan al ganadero reconvertir su actividad hacia otros modelos de producción. Entre ellos la producción ecológica es una alternativa que precisa de una evolución para lograr la reconversión de las explotaciones convencionales con el menor coste y esfuerzo a corto y medio plazo.

La combinación de la producción de carne de calidad diferenciada como “ecológica” con un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales disponibles se plantea como una opción interesante para el desarrollo económico del sector ganadero. Las posibles estrategias de producción en el proceso de conversión a la producción ecológica deben asegurar una alimentación esencialmente forrajera a lo largo de todo el año, así como la obtención de un producto final económicamente rentable y adaptado a las características del mercado.

Es necesario por lo tanto impulsar nuevos modelos ganaderos productivos sostenibles e innovadores que representen un compromiso con la calidad de vida y la salud de las personas, respetando las razas autóctonas para contribuir a su mantenimiento y al bienestar de los animales. La ganadería ecológica es la máxima de estos modelos productivos y se contempla como una alternativa realista y viable, con expectativas crecientes, que promueve además la diversidad de los recursos zoogenéticos autóctonos. El fomento de estos recursos perfectamente coordinados puede garantizar la conservación del hábitat, la recuperación de modos de vida tradicionales que revalorizan los recursos agrarios y puede promover el desarrollo rural con la creación de nuevos espacios económicos.

1.1. Marco legal de la producción ganadera ecológica.

1.1.1. Legislación europea.

El desarrollo normativo comunitario, en cuanto a la producción ecológica ha sido continuo desde la creación el espacio europeo. En 1991 el Consejo Europeo de Agricultura adoptó el Reglamento CEE 2092/1991 sobre agricultura ecológica y el correspondiente etiquetado de productos y alimentos agrícolas. La introducción de este Reglamento formó parte de una reforma de la Política Agrícola Común (PAC) de la Comunidad Económica Europea (CEE) y representó la conclusión de un proceso a través

del cual la agricultura ecológica recibió el reconocimiento oficial por parte de los 15 estados miembros de la CEE en aquel momento.

En un principio, el Reglamento ecológico regulaba únicamente la producción de alimentos de origen vegetal. Posteriormente, en el año 1999 se aprobó el Reglamento CE 1804/1999, que completa al Reglamento CEE 2092/1991, introduciendo disposiciones adicionales para la producción de productos de origen animal. Estas normas incluían la regulación del uso de los piensos para animales, la prevención de enfermedades, los tratamientos veterinarios, la protección animal, la crianza de ganado en general y el uso del estiércol.

El nivel de importancia del que gozaban estos reglamentos está basado en el hecho de que se definen estándares mínimos para la producción ecológica comunes para toda Europa. En este proceso, la confianza de los consumidores, quienes podían adquirir productos ecológicos de otros estados miembros con la certeza de que dichos productos cumplían con los requisitos mínimos, fue reforzada. No obstante, se dejó a cargo de los estados miembros y de las organizaciones privadas el establecer otros estándares propios adicionales más estrictos. En el año 2001, como consecuencia de la elevada demanda de productos ecológicos, y apoyados en las diferentes conferencias nacionales e internacionales sobre alimentación y agricultura ecológica, comenzó la elaboración de un Plan de Acción Europeo en materia de alimentación y de agricultura ecológicas. El objetivo de este plan fue definir la base política a seguir por el sector de la producción ecológica en los siguientes años, proporcionando una visión estratégica de conjunto sobre la contribución de la producción agroalimentaria ecológica a la PAC.

La PAC cuenta entre sus objetivos fundamentales el logro de una agricultura y un medioambiente sostenibles, que, según su definición, debe conciliar la producción alimentaria, la conservación de los recursos no renovables y la protección del entorno natural, de modo que puedan satisfacerse las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de autoabastecimiento de las generaciones futuras.

Diversas acciones incluidas en este plan implicaban la modificación de la anterior reglamentación. Después de un largo proceso, el 1 de junio de 2007 el Consejo Europeo de Agricultura aprobó el nuevo Reglamento del Consejo para la producción y el etiquetado de productos ecológicos (Reglamento CE 834/2007). Este nuevo reglamento

incluye nuevos objetivos, principios y normas generales para la producción ecológica claramente definidos. El objetivo de este nuevo marco legal fue establecer un nuevo curso para el continuo desarrollo de la agricultura ecológica. Además, y complementarios al anterior, en 2008 se adoptaron dos nuevas normas, Reglamento CE 889/2008 y Reglamento CE 1235/2008, que establecen el marco legal para todos los niveles de producción, distribución, control y etiquetado de productos ecológicos que pueden ser ofrecidos y adquiridos en la Unión Europea (UE). Asimismo, determinar el desarrollo continuo de la producción ecológica a través de la disposición de objetivos y principios claramente definidos y, por último, derogar el anterior Reglamento CEE 2092/1991.

Por lo que respecta a la producción ganadera, la normativa europea mencionada fija la procedencia de los animales, las condiciones de los alojamientos, el acceso a los espacios al aire libre, la carga ganadera, la producción simultánea de ganado ecológico y no ecológico, el manejo y métodos de cría, así como la alimentación, la profilaxis y los tratamientos veterinarios, entre otros.

En 2014 entró en vigor el nuevo Reglamento UE 392/2013 de la Comisión de 29 de abril de 2013, que modificaba el Reglamento CE 889/2008 en lo que respecta al régimen de control de la producción ecológica. Por último, el 29 de abril de 2016 fue aprobado, y entró en vigor el Reglamento UE 673/2016 que modifica igualmente el Reglamento CE 889/2008, en esta ocasión, respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control.

En 2017 surgió un desarrollo notable en el marco reglamentario de la UE respecto a los alimentos ecológicos, cuatro años después de que la Comisión Europea lanzara sus propuestas de cambio. En este año se aprobó un texto básico que contiene algunos cambios en las normas sobre producción, controles e importaciones (Programa Marco de Innovación). Esta nueva regularización ecológica de la UE se aplicará a partir de 2021 y va a ir acompañada de otros requisitos detallados que serán discutidos por las instituciones pertinentes de la UE y posteriormente adoptado en los siguientes dos años por todos los países miembros.

1.1.2. Legislación española.

La agricultura ecológica se encuentra regulada legalmente en España desde 1989, año en el que se aprobó el Reglamento de la Denominación Genérica "Agricultura

Ecológica", que ha venido aplicándose hasta la entrada en vigor del Reglamento CEE 2092/1991 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios, siendo inicialmente el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica el encargado de controlar la producción ecológica en todo el territorio nacional.

Como consecuencia del citado reglamento comunitario, será el Real Decreto 1852/1993 el que implemente y adapte la norma al territorio español, con la especial variante de que son las Comunidades Autónomas las que van asumiendo progresivamente las competencias de control de este sistema de producción.

Es de destacar, en el año 1993, la creación de la Comisión Reguladora de Agricultura Ecológica (CRAE) (Real Decreto 1852/1993), configurada como un órgano colegiado adscrito al, aquel entonces, Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medioambiente del Gobierno de España. Esta comisión se constituye con idea de asesorar en materia de producción ecológica y viene siendo, desde su creación, un foro de encuentro en el que participan las administraciones centrales y autonómicas, el sector ganadero y los consumidores.

Para facilitar la consulta unificada de los operadores españoles, y mediante la aprobación del Real Decreto 833/2014, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente creó el Registro General de Operadores Ecológicos, que incorporaba en una plataforma única los datos que constan en los registros o sistemas de información de las autoridades competentes de las Comunidades Autónomas. Igualmente, y con el objetivo de coordinar la actuación de las autoridades competentes de las Comunidades Autónomas en materia de producción ecológica, este decreto creó la Mesa de coordinación de la producción ecológica como órgano colegiado adscrito a la Dirección General de la Industria Alimenticia del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Por último, mediante la transcripción de la Orden ECC /1936/2014, el Ministerio de Economía y Competitividad garantizó la correcta aplicación de las normas europeas que regulan la importación de productos ecológicos e informó a los operadores económicos sobre las actuaciones que se debían llevar a cabo en la importación de estos productos ecológicos procedentes de terceros países, de manera que, sobre la base del principio de coordinación entre los órganos administrativos, se establecieron las

correspondientes normas de gestión de los procedimientos y garantiza el cumplimiento de la legislación de la Unión Europea en la materia.

1.2. Principios técnicos de la ganadería ecológica.

Los principios técnicos de manejo en una explotación ganadera ecológica deben ir encaminados a asegurar su competitividad en un mercado que demanda una producción de calidad, a garantizar la salubridad del producto, el bienestar de los animales y el cuidado del medioambiente durante el proceso de cría.

En este sentido, existen una serie de principios aplicables a nivel mundial (IFOAM, 2005) elaborados como principios éticos que inspiran la actuación, haciendo referencia a la salud, ecología, justicia y respeto, por una parte, y a valores integrales de sostenibilidad, naturaleza y enfoque de los sistemas de producción por otra (Padel *et al.*, 2007).

Estos principios son los siguientes:

- Principio de Salud: persigue sostener y promover la salud del suelo, la planta, el animal, las personas y el planeta como una sola e indivisible.
- Principio de Ecología: la agricultura y ganadería ecológica deben estar basadas en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, emularlos y ayudar a sostenerlos.
- Principio de Equidad: los sistemas de producción ecológica deben estar basados en relaciones que aseguren equidad con respecto al medioambiente.
- Principio de Precaución: debe darse una gestión responsable y precavida para proteger la salud y el bienestar de las generaciones presentes, futuras y del ambiente.

Para ello, deben aplicarse una serie de criterios que pueden ser válidos para cualquier explotación ganadera convencional, aunque otros deberán responder específicamente a lo establecido por el Reglamento CE 834/2007 en materia de elección de los animales que van a formar el rebaño, la alimentación en el establo y en el pastoreo, el manejo reproductivo, el diseño de las instalaciones y la aplicación de medidas sanitarias. Estos aspectos deberán incorporarse a la explotación durante un periodo de conversión previo a la comercialización del ganado como ecológico, que al aplicarse

conjuntamente al ganado (12 meses) y a los pastos asociados (2 años en los pastos naturales) tiene una duración total de aproximadamente dos años.

Los principales aspectos a tener en cuenta en cada uno de estos puntos serían los siguientes:

a. Respeto a la base animal.

En ganadería ecológica la elección del genotipo animal es fundamental. Así, el Reglamento CE 834/2007 recomienda el uso preferente de las razas y estirpes autóctonas de la región en la que va a realizarse la producción. De esta manera se asegura que el grado de adaptación al ecosistema y a las condiciones locales sea el óptimo y se fomenta la diversidad ecológica del ecosistema agrario. Estas razas suelen ser menos productivas comparadas con otras razas mejoradas, pero por lo general suelen ser menos exigentes en alimentos de calidad, suelen tener menos problemas de enfermedades, un buen instinto maternal y éxito en la crianza.

En España, las razas autóctonas destacan por su rusticidad y por poseer una gran capacidad para transformar de manera eficiente recursos de baja calidad asociados a medios difíciles y sistemas de explotación con escasas inversiones en infraestructuras, equipamientos, sanidad, etc. En estas condiciones las razas autóctonas, como es el caso de la raza bovina Retinta, proporcionan unos buenos índices reproductivos y desarrollan unas excelentes cualidades maternas.

b. Respeto a la alimentación.

De acuerdo al Reglamento CE 834/2007 cualquier explotación ganadera debe basar su alimentación en el adecuado equilibrio entre las necesidades nutricionales del ganado y la disponibilidad de alimentos en la explotación, considerando tanto los ofrecidos en establo como los pastos que el animal aproveche a diente, respetando al máximo sus comportamientos alimentarios. Todos estos aspectos serán esenciales para preservar su salud y para obtener de ellos producciones óptimas durante mucho tiempo. Cuidando la alimentación del ganado se pretende asegurar la calidad de la producción más que alcanzar una elevada producción. Para lograr este fin es necesario conjugar los requerimientos del ganado en cada una de las fases del desarrollo con el empleo de productos de la propia granja (Hermansen, 2003).

En la ganadería ecológica, el flujo de nutrientes se caracteriza por su alto grado de dependencia de las condiciones del suelo y del clima que determinan la producción de suelo fértil. También depende de las características de las zonas con pasto, del manejo del abono, número de animales en el rebaño, de la densidad ganadera y de los niveles de producción de los animales de la granja. Además, las condiciones de las zonas de pasto y la calidad del forraje producido influyen en la salud del animal, su condición, bienestar y en la calidad de los productos finales (Zastawny *et al.*, 2005).

La ración de alimento en la granja ecológica debe estar compuesta íntegramente por materias primas ecológicas, cultivadas sin fertilizantes, plaguicidas de síntesis artificial, o sometidas a transformaciones con productos químicos o derivados de organismos transgénicos (Caballero *et al.*, 2003). En general, y siempre que las condiciones lo permitan, la base de la dieta del ganado vacuno, aunque no de forma exclusiva la constituye el pasto, el forraje o el silo (en función de su disponibilidad en las distintas épocas del año) ofreciendo al ganado una dieta de calidad variada y rica en vitaminas y minerales y una correcta actividad rumial. En este sentido, la principal diferencia entre la alimentación del ganado ecológico y el convencional radica en la obligatoriedad de que la producción ecológica debe garantizar, como mínimo, el 60% de la materia seca de la ración diaria en forma de forrajes que pueden ser suministrados en fresco, desecados o ensilados. Aunque de esta manera se restringe la proporción de alimento concentrado ecológico en la ración al 40% y se prohíbe el uso de promotores de crecimiento, el Reglamento autoriza el uso de ciertos alimentos complementarios y prebióticos (Caballero *et al.*, 2003), y puntualmente alimentos convencionales si existen problemas de aprovisionamiento. En cualquier caso, este aporte debe ser reducido y supervisado por la autoridad competente en la materia. Además, para asegurar la cobertura de las necesidades fisiológicas esenciales de los animales, puede ser necesario recurrir a determinados minerales, oligoelementos y vitaminas en condiciones bien definidas y controladas.

En la producción ecológica es importante planificar la alimentación de los animales para adecuar la carga ganadera a la disponibilidad de producción de alimentos ecológicos de la propia explotación y conseguir así un óptimo autoabastecimiento. Como en cualquier otra explotación ganadera, un correcto manejo nutricional del ganado pasa por la adecuada distribución del rebaño en lotes de animales homogéneos en función de sus necesidades, tanto en cantidad como en calidad de la dieta. Esto permite optimizar el

estado nutricional de los distintos tipos de animales, planificar los episodios reproductivos, así como la distribución de la mano de obra e incluso los resultados económicos.

Entre otras medidas, el Reglamento CE 834/2007 establece respetar los tiempos mínimos de lactancia para garantizar el desarrollo y crecimiento de los animales. Una vez destetados, los rumiantes deberán ser alimentados básicamente con alimentos ecológicos ricos en fibra, sobre todo pastos y en su defecto forrajes de calidad que pueden ser presentados en pesebre.

Puesto que esta actividad ganadera está íntimamente ligada a la tierra, las zonas de pastoreo de los animales deben estar inscritas en un organismo de certificación reconocido que asegure que el alimento proviene de la producción ecológica.

c. Respecto a las instalaciones.

En la producción de ganado ecológico es muy importante disponer de instalaciones que permitan asegurar a los animales unas condiciones de vida óptimas cuando no puedan encontrarlas en el medio exterior (Caballero *et al.*, 2003). Los animales criados en un sistema ecológico deben contar con la posibilidad de acceder a una zona de libre ejercicio donde puedan desarrollar su comportamiento natural, siendo éste un elemento esencial en la ganadería ecológica (Jankowska-Huflejt *et al.*, 2004).

La infraestructura que deben poseer las granjas ecológicas para el ganado vacuno puede ser sencilla. Básicamente, es necesario proporcionar a los animales el máximo espacio posible para facilitar su movimiento, el acceso al alimento y al agua, asegurando el máximo confort posible (Caballero *et al.*, 2003). De hecho, el Reglamento CEE 2092/1991 recomienda que las dimensiones del área de esparcimiento de los animales deben ser al menos un 75% de la zona cubierta y exige ciertas condiciones del suelo, con posibilidad de almacenamiento adecuado de los efluentes (Hermansen, 2003) o el mantenimiento del estado seco de las camas. De otra parte, el reglamento para la producción ecológica exige el diseño de instalaciones para garantizar la agrupación de los animales en rebaños, quedando prohibida terminantemente su sujeción (Sundrum, 2001; Hermansen, 2003). En el caso de la producción bovina, en función de las condiciones climáticas del área en la que se localice la explotación ganadera, puede no ser necesario disponer de alojamientos cerrados, siendo suficiente la provisión de resguardos naturales

o pequeños cobertizos como protección frente a las inclemencias meteorológicas (Reglamento CE 834/2007). En caso de que se requieran instalaciones cubiertas, los animales deberán tener acceso a pastos o zonas de ejercicio al aire libre en la medida en la que el clima lo permita, y dichos espacios deben ser, en principio, objeto de un adecuado programa de rotación. No obstante, la fase final de engorde de los animales podrá efectuarse en el interior, siempre que dicho periodo no supere los tres meses o la quinta parte del tiempo de vida del animal. En general, estos alojamientos deben responder a las necesidades de los animales en materia de ventilación, temperatura, luz, espacio y comodidad, permitiendo a los animales moverse libremente y desarrollar su comportamiento innato, y garantizando un grado de bienestar fundamental en la prevención de patologías.

Puesto que, como se ha mencionado anteriormente, la ganadería ecológica se encuentra estrechamente ligada al aprovechamiento del suelo, el establecimiento de las dimensiones de la explotación ganadera debe ser equilibrado en censos y superficies. En primer lugar, el Reglamento CE 834/2007 establece unos censos máximos por unidad de superficie forrajera (carga ganadera), de manera que se eviten los problemas derivados del sobrepastoreo y de la erosión de la tierra, y para permitir el esparcimiento del estiércol, a fin de evitar todo impacto negativo en el medioambiente. En este sentido, las cargas ganaderas máximas que pueden establecerse en la explotación ganadera no deben exceder un aporte de 170 kg de nitrógeno por hectárea de superficie y año. En el cómputo de la carga máxima de las explotaciones ganaderas ecológicas se tendrán en cuenta las equivalencias descritas en la tabla 1.

Las explotaciones ganaderas ecológicas deben tender a la autosuficiencia forrajera como mejor manera de garantizar el abastecimiento de alimentos de origen ecológico para el rebaño, minimizando la dependencia de productos adquiridos fuera de la explotación. Por ello, el censo máximo de animales deberá establecerse teniendo en cuenta la disponibilidad de pastos para ser aprovechados a diente, la productividad de las superficies propias destinadas a la producción de forrajes conservados, y en su caso, las posibilidades de adquirir otros alimentos de origen ecológico producidos fuera de la explotación.

Las explotaciones ganaderas ecológicas deben tender a la autosuficiencia forrajera como mejor manera de garantizar el abastecimiento de alimentos de origen ecológico para

el rebaño, minimizando la dependencia de productos adquiridos fuera de la explotación. Por ello, el censo máximo de animales deberá establecerse teniendo en cuenta la disponibilidad de pastos para ser aprovechados a diente, la productividad de las superficies propias destinadas a la producción de forrajes conservados, y en su caso, las posibilidades de adquirir otros alimentos de origen ecológico producidos fuera de la explotación.

Tabla 1. Número máximo de animales por hectárea (equivalente a 170 kg N₂/ha/año) en producción ecológica.

Tipo de animal	Animales/ha
Terneros de engorde	5
Terneros menores de 1 año	5
Bovinos de 1 a 2 años	3,3
Bovinos machos de más de 2 años	2
Novillas de reposición	2,5
Vacas	2,5

Fuente: Reglamento CE 889/2008.

En cuanto al diseño de las explotaciones ganaderas, como se ha descrito con anterioridad, las zonas de alojamiento deberán responder a las necesidades biológicas y de comportamiento de cada animal, asegurándoles una adecuada libertad de movimientos y de comodidad, con fácil acceso a los alimentos y al agua en todo momento. En estos alojamientos hay que garantizar que las condiciones de aireación, aislamiento, humedad y protección se mantengan en los límites que no afecten a los animales, permitiendo además abundante ventilación e iluminación natural. Por otro lado, los espacios al aire libre deberán contar con suficiente protección contra las inclemencias del tiempo como viento, lluvia o temperaturas extremas.

Si los animales tuvieran que ser transportados, esta maniobra se deberá realizar de manera que se reduzca el estrés lo máximo posible. Para la carga y descarga no se utilizarán métodos de estimulación eléctrica, ni tranquilizantes en ninguna fase del transporte.

d. Respecto al manejo reproductivo.

La reproducción en condiciones ecológicas se basa en métodos naturales, estando prohibido el uso de hormonas para el control de la reproducción. Las cubriciones de las vacas han de realizarse prioritariamente mediante monta natural, aunque también está autorizada la inseminación artificial. Sin embargo, la necesidad de manejo de los animales

que requiere este tipo de metodologías lo hace poco viable en un rebaño bovino ecológico, ya que no están autorizados los tratamientos de sincronización y la inseminación debe realizarse a celo visto. La reglamentación ecológica no permite las demás formas de reproducción asistida, como puede ser la transferencia de embriones. En todo caso, si se realiza un adecuado manejo de los animales, será posible obtener buenos índices productivos y reproductivos en las explotaciones ecológicas sin necesidad de recurrir a tratamientos hormonales.

e. Respecto a la sanidad.

La sanidad animal se considera una parte fundamental del bienestar de los animales (Hovi *et al.*, 2003). En el caso de los sistemas ganaderos ecológicos, la salud de los animales se fundamenta en la prevención y en un buen manejo de los recursos disponibles. Son varios los factores que contribuyen a garantizar una buena prevención y a minimizar los problemas sanitarios. Entre ellos se encuentran la selección de las razas y las estirpes que mejor se adapten a las condiciones de la explotación, las prácticas de gestión pecuaria, una alimentación equilibrada y de alta calidad y el ejercicio, alojamiento adaptado a cada animal y en buenas condiciones higiénicas y un uso racional de los espacios al aire libre. Además, deben aplicarse medidas específicas de limpieza y desinfección. En este sentido, surgen nuevas herramientas más acordes con este sistema de producción como son el manejo, el control biológico, la profilaxis y las terapias naturales (García *et al.*, 2003).

Según el Reglamento CE 834/2007, queda prohibida la utilización de medicamentos alopáticos de síntesis química o antibióticos. Cuando los animales enfermen o se lesionen, deben recibir un tratamiento inmediato (con el fin de evitar el sufrimiento de los animales) a través de medicamentos fitoterapéuticos, homeopáticos u oligoelementos, siempre bajo supervisión de un veterinario. No obstante, si el uso de medicamentos alternativos no resulta eficaz, y es imprescindible administrar otro tratamiento, éstos podrán utilizarse bajo la responsabilidad de un profesional facultativo, duplicando en el tratamiento los periodos de supresión del medicamento. Hay que tener en cuenta que si un animal o grupo de animales recibieran más de tres tratamientos con productos de síntesis química al año, los productos obtenidos no podrán considerarse como ecológicos hasta que vuelvan a pasar el periodo de conversión. En la producción

ecológica se permiten las vacunaciones y los programas de erradicación obligatoria impuestos por los Estados miembros, así como los tratamientos antiparasitarios.

En definitiva, la buena salud de los animales será el resultado de una gestión coherente, asegurando la resistencia a las enfermedades y previniendo las infecciones. El nivel hasta el que estas herramientas de manejo son suficientes de manera que no sea necesaria la intervención veterinaria dependerá de la dificultad de resolver las problemáticas de las enfermedades (sistemas de producción, densidad ganadera, bioseguridad, estación), de la resistencia del rebaño (condiciones de manejo, nutrición, raza, selección dentro de la raza, enfermedades concurrentes), de la existencia de herramientas de manejo útiles (biología y epidemiología de la enfermedad o infección) y de la eficacia de la implantación (estructura de la granja, capacidad de manejo, presión económica) (Keatinge *et al.*, 2000).

f. Sobre el bienestar de los animales.

El bienestar animal es un concepto difícil de definir, y puede decirse que cada persona tiene su propia opinión. A pesar de ello, la comunidad científica está de acuerdo en que los animales no deben sufrir miedo, angustia, sed o hambre prolongada, tal y como se describe en el Proyecto Welfare Quality® “Principios y criterios del bienestar animal” (Blokhuys, 2004).

El mantenimiento de un correcto estado de confort del animal está integrado en uno de los principios de la producción ecológica (IFOAM, 2005). La salud del ganado no sólo implica la ausencia de enfermedad, sino también un alto nivel de vigorosidad y vitalidad, potenciando la capacidad del animal para resistir infecciones, desórdenes metabólicos y recuperarse de traumatismos.

Según recoge el Reglamento CE 834/2007, en la práctica ecológica no podrán efectuarse de forma generalizada actuaciones que puedan ocasionar a los animales estrés, dolor, sufrimiento o incidan negativamente en su bienestar. Si se viera la necesidad de realizar alguna actividad que pudiera ocasionar algún trastorno al animal, ésta tendría que ser autorizada por el organismo certificador para la producción ecológica, siempre y cuando la práctica en cuestión tuviera por objeto mejorar la salud, higiene o bienestar del animal.

1.3. Modelos productivos de la ganadería ecológica.

En general, la práctica ganadera viene siendo considerada como una actividad contaminante. Esta actividad constituye una importante fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, genera un importante aporte de nitrógeno al suelo y según el análisis aportado por Steinfeld *et al.* (2009) puede contribuir a la contaminación hidrográfica. Pese a lo problemático de este hecho, las condiciones económicas siguen siendo favorables a la ganadería convencional intensiva. El proyectado aumento demográfico para los próximos años, junto con la creciente demanda de alimentos seguros y nutritivos de elevada calidad organoléptica y la rápida merma de los recursos naturales (Schader *et al.*, 2013) hacen urgente la búsqueda de nuevos sistemas basados en la producción ganadera respetuosa con el medioambiente. Es por eso que la propuesta y estudio de nuevos modelos ecológicos menos dependientes de la inestabilidad climática o arraigados a la disponibilidad de tierra pueden resultar de interés. De este modo se podrán paliar los efectos negativos de la producción ganadera intensiva, a la vez que se permita el fomento de la actividad ganadera ecológica en áreas donde esta práctica pueda tener limitadas las posibilidades productivas por razones climáticas, geográficas o estructurales.

Puesto que la producción ganadera en Europa tiene una vasta extensión y existen grandes diferencias climáticas, geográficas e incluso sociales, la producción ganadera ecológica se viene desarrollando a través de normas más o menos flexibles preestablecidas por cada Estado miembro. De acuerdo a la legislación en materia de producción ecológica (Reglamento CE 834/2007) existe la posibilidad de adaptación de las normas de este tipo de producción para cada región en el marco del Reglamento CE 834/2007 teniendo en cuenta la situación sanitaria, las diferencias regionales y climáticas, así como las condiciones, las fases de desarrollo y las prácticas ganaderas específicas locales del espacio europeo. Con ello queda abierta la posibilidad de desarrollar un sistema de ganadería ecológica más “intensiva” que el que opera en regiones con amplia disponibilidad para el pastoreo, en el que los animales se puedan disponer en corrales siempre y cuando se cumplan los requisitos recogidos en la legislación vigente (*Codex Alimentarius*, 2004; Reglamento CE 834/2007). Estos requisitos son los siguientes:

- El ganado deberá tener acceso permanente a zonas al aire libre.
- Las normas de bienestar animal se cumplan y se responda a las necesidades de comportamiento propias de cada especie.

- Las condiciones de estabulación deberán ajustarse a las necesidades de desarrollo y a las necesidades fisiológicas y etológicas de los animales. En el anexo III del Reglamento CE 889/2008 se establecen las superficies mínimas interiores y exteriores y demás condiciones de alojamiento correspondientes a las distintas especies y categorías de animales (tabla 2).
- La alimentación estará basada en el aporte de pienso ecológico formulado a partir de ingredientes procedentes de la agricultura ecológica que cubran las necesidades nutricionales de los animales en las diversas etapas de su desarrollo. Expresamente el Reglamento CE 834/2007 detalla que las raciones diarias de los rumiantes de producción ecológica deberán estar compuestas por al menos un 60% de forraje sobre la materia seca total ingerida.

Tabla 2. Superficie mínima interior y exterior de alojamiento establecida para la cría de la especie bovina de producción ecológica, según categorías de animales.

	Zona cubierta (superficie neta disponible por animal)	Zona al aire libre (superficie de ejercicio, sin incluir pastos)
Peso mínimo en vivo (kg)	m ² /cabeza	m ² /cabeza
Hasta 100 kg	1,5 m ²	1,1 m ²
Hasta 200 kg	2,5 m ²	1,9 m ²
Hasta 350 kg	4,0 m ²	3,0 m ²
De más de 350 kg	5,0 m ²	3,7 m ²

Fuente: Reglamento CE 834/2007.

Debido a la competencia que sufren la producción ecológica por parte de la producción convencional, las explotaciones ganaderas ecológicas intentan combinar la rentabilidad de la producción con un manejo lo menos intensivo posible (Mata *et al.*, 2003). En este sentido, en la tabla 3 se resumen algunos de los principios prioritarios que rigen los modelos de producción ecológica basada en el pastoreo frente al modelo de producción ecológica sin tierra.

Por todo ello, resulta interesante la búsqueda de nuevos sistemas de producción ecológica que sin dejar de ser rentables y sostenibles con el medioambiente garanticen la producción de alimentos de calidad, minimicen los efectos adversos de la estacionalidad de los recursos pastables y de los efectos climatológicos y geográficos. De otra parte, la posibilidad de la cría de animales de producción ecológica basada en el uso de alimentos concentrados puede permitir la oferta permanente de este producto durante todo el año.

Tabla 3. Principios prioritarios de la producción ecológica en extensivo vs. la producción ecológica en intensivo.

Producción ecológica basada en el pastoreo	Producción ecológica basada en la intensificación
Sistema de producción basado en el empleo de la tierra y pasto natural.	Sistema de producción basado en el empleo de piensos ecológicos.
Sistema dependiente de las condiciones climáticas y geográficas.	Minimización de problemas respecto a la disponibilidad de espacio o estacionalidad de pastos.
Máxima eficacia dentro del sistema de la explotación.	Máximo rendimiento productivo y minimización de los costes de producción.
Optimización de la calidad de los productos y del procesado (salud y bienestar animal, producción respetuosa con el medioambiente).	Optimización de la calidad de los productos y del procesado (salud y bienestar animal, producción respetuosa con el medioambiente).

En este sentido, se pueden contemplar dos modelos de producción acordes con la normativa vigente en materia de producción ecológica:

- a. Producción ecológica en condiciones extensivas, con alimentación a base de pasto y suplementación con alimento concentrado en época de escasez de los recursos pastables. En este tipo de ganadería los animales viven en libertad, aprovechando los recursos naturales que les ofrece el entorno en su totalidad; y cuando los recursos de la zona sean insuficientes, se proporcionan aportes nutritivos ecológicos que complementen su alimentación.
- b. Producción ecológica en modelo mixto, en el que se combina el aprovechamiento de los pastos durante la fase de cría con el cebo ecológico durante la recría en establos. En esta modalidad los animales permanecen en libertad con las madres en parcelas con terreno suficiente que les permita desarrollar un comportamiento habitual durante la lactancia. Seguidamente, los animales después del destete son trasladados a cebaderos con amplia disponibilidad de espacio para el ejercicio, donde son alimentados con productos naturales de producción ecológica del entorno o por adquisición en el mercado regional.

1.4. Las cifras de la ganadería bovina ecológica en España.

En 2016 la superficie ecológica creció en todo el mundo hasta los 57,8 millones de ha de forma paralela al número de productores (FIBL-IFOAM, 2018). Actualmente, la segunda región con más tierra dedicada a la producción ecológica en el mundo es Europa con 13,5 millones de ha dedicadas a esta actividad (el 23% del total de superficie ecológica mundial). De acuerdo a los censos extraídos de FIBL-IFOAM (2018), en el año 2016 España (con aproximadamente 2,0 millones de ha) ocupa el cuarto país del mundo en cuanto a superficie dedicada a la producción ecológica, por detrás de Australia, Argentina y Estados Unidos de América. En el ámbito de la Unión Europea, España sigue siendo el país con mayor área de superficie ecológica, seguido de Italia (1,8 millones de ha) y Francia (1,5 millones de ha). La cifra expresada para este país supone casi el 16% del total comunitario (FIBL-IFOAM, 2018).

En general, en España se viene observando un ligero crecimiento del número de cabezas de ganado dedicadas a la producción ecológica en los últimos años. En la tabla 4 se muestra la evolución de este crecimiento.

Tabla 4. Evolución (2010-2015) del número de cabezas (miles) de ganado productor de carne ecológica en España.

Años	Bovino	Ovino	Caprino	Aves	Porcino
2010	139,4	426,7	34,8	80,8	-
2011	172,0	593,8	45,4	104,1	-
2012	160,0	487,0	31,6	73,3	-
2013	147,3	405,6	27,9	153,2	-
2014	163,7	449,5	31,3	179,9	6,8
2015	185,4	574,0	33,4	207,5	10,7

Fuente: MAPAMA, 2018.

La producción de carne ecológica depende básicamente de los grandes y pequeños rumiantes y de las aves, mientras que la carne de porcino ecológico todavía no goza de un peso proporcional comparable a la enorme envergadura del sector porcino total español (MAPAMA, 2018).

El área de trabajo que se propone en el presente documento (Andalucía y Extremadura) presenta características climáticas y geográficas favorables para poder llevar a cabo la producción ecológica. Son dos Comunidades Autónomas que poseen un gran potencial para el desarrollo de sistemas de producción animal en condiciones de extensividad y que vienen teniendo un importante papel en el desarrollo de la agricultura y ganadería de este tipo a nivel nacional. El informe del MAPAMA (2018) confirma que ambas regiones del sur del país son las que más superficie ecológica concentran.

Andalucía, con un 48,4% del total, domina claramente el panorama estatal, seguida de Castilla-La Mancha (19,4%), Cataluña (8,5%), Extremadura (4,1%), Comunidad Valenciana (4,0%), Región de Murcia (3,9%), Aragón (2,8%), Navarra (2,4%) y comunidades restantes (6,6%). En base a los datos del presente informe, en relación a la producción ecológica de origen animal, el número de explotaciones ganaderas en 2016 fue de 7.553 (con un aumento de 1.476 explotaciones en referencia al año anterior). De ellas, 3.515 eran granjas de bovino, 2.846 de ovino y caprino y 294 avícolas. Más del 90% de los productores de bovino ecológico del espacio nacional están repartidos entre Andalucía y Extremadura.

1.5. Principales factores para el desarrollo de la producción ganadera bovina ecológica en España.

Las condiciones climáticas y orográficas de la Península Ibérica han propiciado una serie de impactos ecológicos derivados de la actividad agraria bastante diferentes, o de distinta intensidad, respecto a los de los países del centro y norte de Europa (González, 2004).

Fundamentalmente, los sistemas agro-silvopastorales de relevancia para el desarrollo de la producción ecológica en España son la *dehesa* en el sudoeste, el Monte Gallego en el noroeste y los Sistemas montañosos ampliamente distribuidos por la península ibérica (García, 2000). En este contexto, la implantación del sistema de producción ecológica se ha visto facilitada porque el alto número de las ganaderías extensivas inicialmente se encontraban ubicadas en amplias zonas de escaso desequilibrio medioambiental y escasa contaminación. En estas condiciones, el desarrollo de la ganadería ecológica en España ha sido posible introduciendo algunas modificaciones en el aspecto sanitario y de manejo (Caballero y Mata, 1996). Concretamente, la conversión de las ganaderías extensivas a ecológicas ha contribuido a mantener el característico y complejo sistema agro-silvopastoral llamado *dehesa*, garantizando un adecuado aprovechamiento de este medio sin acciones negativas y obteniendo productos de reconocida calidad (Altieri y Labrador, 1994).

Las circunstancias que han favorecido el desarrollo de la producción de ganado ecológico en España son diversas. Entre otras, destacan la presencia de gran cantidad de espacios agro-silvopastorales poco deteriorados y con prácticas ya propias de ecosistemas naturales (Aguilar y Lozano, 2008) y la gran riqueza de razas autóctonas adaptadas a

situaciones difíciles y capaces de sobrevivir en condiciones extremas (García y Cordero, 2006) como es el caso de la raza Retinta.

En la zona del suroeste peninsular se cumple con las principales condiciones que permiten el desarrollo de la ganadería ecológica en España y son las que se enumeran a continuación:

1.5.1. El ecosistema.

Fundamentalmente el sistema de producción ecológica de carne bovina se localiza en la *dehesa*. Este es un sistema de explotación ganadera y/o cinegética de carácter multifuncional en el que al menos el 50% de la superficie está ocupada por pastizal con arbolado adulto disperso, productor de bellotas y con una fracción de cabida cubierta de entre el 5-60% (Pulido y Picardo, 2010). Este ecosistema se considera un tipo de bosque mediterráneo en el que conviven diversas especies del género *Quercus* y donde la acción del hombre ha ido eliminando el sotobosque primitivo para favorecer el crecimiento de pastos anuales y pastos secos (Devesa, 1991). Sus características principales son los suelos ácidos, poco profundos y fácilmente erosionables que sustentan como árboles más representativos las encinas (*Quercus ilex*) y los alcornoques (*Quercus suber*) (figura 1).

El uso tradicional de este sistema incluye la combinación de ganado, bosque y agricultura. El ganado bovino y ovino consume la hierba, el porcino las bellotas y el caprino y los animales salvajes aprovechan principalmente los arbustos. Los productos de abasto obtenidos de este sistema incluyen básicamente el corcho, el cereal y la carne.

Según datos recogidos del MAPAMA (2018), la superficie de *dehesa* certificada como ecológica a nivel nacional en 2016 fue de 285.652 ha, de las cuales más del 69% se concentran en Andalucía (197.255 ha) y más del 16% en Extremadura (47.546 mil ha).



Figura 1. Ganado vacuno de raza Retinta en la dehesa. Autora: María Amparo Cabeza de Vaca.

Este sistema productivo es muy próximo a los requisitos que recoge la normativa para la producción ganadera ecológica (Reglamento CE 834/2007). La *dehesa* se puede considerar como un espacio óptimo para la conversión de la actividad ganadera convencional a la ecológica, requiriendo tan sólo unos mínimos ajustes para obtener la certificación ecológica (Nardone *et al.*, 2004). Este apunte explica que la conversión hacia modelos de producción ecológica haya conseguido un evidente protagonismo en las Comunidades Autónomas de Andalucía y Extremadura, consideradas tradicionales territorios latifundistas ligados a la presencia de amplias extensiones de tierra asociada a la *dehesa*.

1.5.2. La climatología.

El clima del suroeste español se caracteriza por condiciones adversas que dificultan el pastoreo de los animales durante largos periodos de tiempo, pero que sí favorecen el desarrollo de pastizales compuestos por una gran diversidad de especies pratenses, la mayoría de ellas anuales. La producción de pasto en Andalucía occidental y Extremadura es marcadamente estacional, de tipo mediterráneo, con inviernos lluviosos más o menos fríos, y veranos extremadamente secos y calurosos (Hernández, 2004). Esta situación ha llevado a algunos ganaderos productores de carne bovina ecológica a adoptar nuevas formas de cría de los animales diferentes al aprovechamiento de los pastos de *dehesa*, engordando los animales de acuerdo al Reglamento de producción ecológica en modelo mixto. Este sistema, más cercano al modelo convencional de producción, consiste en engordar los terneros utilizando el alimento concentrado de certificación ecológica y garantizando el espacio mínimo de recreo de los animales recogido en las disposiciones pertinentes. La práctica permite reducir el periodo de cebo y la exposición de los animales a las difíciles condiciones climáticas de la *dehesa*.

1.5.3. La raza.

La ganadería ecológica recomienda el uso de animales autóctonos o locales adaptados a las condiciones climáticas de cría y al tipo de alimentación de la zona. Normalmente, estas razas suelen ser menos productivas comparadas con las razas mejoradas. Sin embargo, las autóctonas suelen ser menos exigentes en la demanda de alimentos de calidad, más resistentes a los problemas sanitarios locales y usualmente presentan mayor capacidad maternal que las razas mejoradas (Caballero, 2002).

La Retinta constituye numéricamente la principal raza bovina autóctona de la España seca que se distribuyó por la mitad sur de la península ibérica (Pérez, 2004). En la actualidad, los sistemas de producción asociados a la comercialización posterior de su carne son predominantes en el cuadrante suroccidental peninsular. El Libro Genealógico de la raza Retinta, gestionado por la Asociación nacional de criadores de ganado vacuno selecto de raza Retinta presentó en 2017 un censo aproximado de 200.000 animales, de los que más de un 10% están inscritos en su Libro Genealógico (26.138 animales). Extremadura y Andalucía constituyen el área principal de distribución (12.370 y 11.801 animales, respectivamente), si bien hay otras comunidades autónomas como Castilla-La Mancha y Castilla y León que presentan gran número de cabezas de ganado retinto.

Esta raza agrupa animales macizos y fuertes, de perfil subconvexo, que destacan por su capacidad corporal, dentro de la armonía anatómica, sostenida por un sólido armazón óseo, no basto (Sánchez, 2002) (figura 2).



Figura 2. Ejemplar de ternero de la raza Retinta. Fuente: Asociación nacional de criadores de ganado vacuno selecto de raza Retinta.

Se trata de un bovino de aptitud eminentemente cárnica, caracterizado por un marcado carácter maternal y por una elevada rusticidad. Estas características permiten a los retintos aprovechar eficazmente los medios difíciles, con marcadas épocas de sequía y periodos de carestía, típicas de la climatología del suroeste español.

Las prácticas ganaderas tradicionales características del manejo del ganado de raza Retinta son compatibles con la conservación y el aprovechamiento sostenible de la *dehesa* mediterránea. Estos animales son criados en extensivo, se alimentan durante todo el año de los recursos forrajeros de la *dehesa*, siendo complementada su alimentación con paja, heno y pienso en épocas de carestía. La cría se efectúa en la propia finca, siendo el destete entre los 5 y los 7 meses de edad (Pérez, 2004). El destino de los machos suele

ser el cebo y sacrificio como animales de abasto (salvo aquellos que por su elevada calidad se destinan a futuros sementales), mientras que la mayoría de las hembras son vendidas como animales de vida o empleadas para la recría propia de la explotación ganadera.

1.6. La certificación ecológica.

La International Standardization Organization (ISO) define la certificación como el procedimiento mediante el cual una tercera parte independiente ofrece una garantía, por escrito de que un producto, proceso o servicio cumple una norma determinada.

En el caso de los productos ecológicos es necesaria la implantación de mecanismos de control fiables a través de los cuales se pueda garantizar a los consumidores que se ha cumplido la reglamentación de la producción ecológica en cada una de las etapas del proceso, hasta que el producto llega al consumidor. Esta garantía se logra mediante el sistema de inspección y certificación. La certificación de los alimentos ecológicos desempeña un papel fundamental para ofrecer y generar una situación de confianza por parte de los consumidores respecto a la veracidad de la aplicación de los principios y declaraciones propias del sistema de producción orgánica. Esta confianza se considera imprescindible para el desarrollo del mercado de los alimentos ecológicos.

El sistema de certificación incluye inspecciones y etiquetas de identificación que son de gran importancia en la comercialización de los alimentos ecológicos, ya que a través de la certificación se pretende garantizar al consumidor la calidad orgánica del alimento y, de esta manera, brindarles mayor confianza a estos productos. Además, con la utilización de las etiquetas o sellos identificadores de los alimentos ecológicos, las certificadoras desempeñan un papel importante, contribuyendo a que los consumidores puedan distinguir los productos ecológicos de los que no lo son, lo que constituye para ellos una garantía de que los productos son realmente lo que dicen ser y que se ajustan a normas establecidas (Lozano, 2009).

Cuando un alimento se comercializa con una etiqueta de “ecológico” significa que los productores y procesadores han respetado las normas del programa nacional o regional de producción orgánica y han sido certificados como tales, para lo cual se ha requerido de un sistema de certificación e inspecciones regulares. Estos programas son los que

otorgan credibilidad al sistema y ayudan a inspirar confianza a los consumidores (Minetti, 2002).

Una de las instituciones no gubernamentales encargada de promover y reglamentar en el ámbito internacional la producción orgánica en materia de almacenamiento, transporte, procesos de elaboración y justicia social es la Federación Internacional de los Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM). Esta institución emite normas básicas que se han adoptado de manera generalizada en distintos lugares del mundo. Estas normas, si bien no pueden ser usadas por sí solas para otorgar la certificación, sirvieron como base a la legislación europea para regular la actividad de la producción ecológica.

Otro de los organismos internacionales que se encarga de reglamentar la producción orgánica es el *Codex Alimentarius* de Naciones Unidas (FAO/OMS). Se trata de un cuerpo intergubernamental que comenzó a operar a comienzos de los años sesenta, con el objetivo de proteger a los consumidores de riesgos sobre la salud y fraudes. A partir de 1999 adoptó directrices para la producción, elaboración, etiquetado, almacenamiento, transporte y comercialización de los alimentos ecológicos.

En España, el control y la certificación de la producción agraria ecológica es competencia de las Comunidades Autónomas y se lleva a cabo mayoritariamente por autoridades de control públicas, a través de Consejos o Comités de producción ecológica territoriales, que son organismos dependientes de las correspondientes Consejerías o Departamentos de Agricultura y Ganadería, o directamente por Direcciones Generales adscritas a las mismas.

Como distintivo para que el consumidor pueda diferenciar en el mercado los productos de la agricultura ecológica, todas las unidades envasadas, además de su propia marca y alguna de las menciones específicas de la producción ecológica llevan impresas el código de la autoridad y organismo de control o un logotipo específico, con el nombre y el código de la entidad de control para la producción ecológica. La utilización de un logotipo característico es una de las herramientas más importantes para distinguir un alimento ecológico del resto de los alimentos y la herramienta gráfica empleada por una empresa con el fin de distinguir el producto ecológico y permitir su fácil identificación por parte del consumidor.

En el caso de la Unión Europea, en marzo de 2000, se creó un logotipo compuesto por los términos “Agricultura Ecológica–Sistema de Control CE” (figura 3), concebido para ser utilizado con carácter voluntario en el etiquetado de los productos ecológicos de acuerdo con el Reglamento CEE 2092/1991.



Figura 3. Logotipo para el etiquetado e identificación de los productos ecológicos de la Unión Europea utilizado desde el año 2000 hasta el 2010. Fuente: www.marm.es.

A partir de julio de 2010, el logotipo ecológico de la Unión Europea cambia (figura 4) y su uso es obligatorio para todos los alimentos ecológicos preenvasados. También se puede utilizar este logotipo de forma voluntaria en alimentos ecológicos no preenvasados producidos en la Unión Europea, o para cualquiera de los productos ecológicos importados de terceros países.



Figura 4. Logotipo para el etiquetado e identificación de los productos ecológicos de la Unión Europea utilizado a partir del año 2010. Fuente: Reglamento UE 271/2010.

Además del anterior logo, existen otros logotipos regionales que de igual manera identifican a los alimentos ecológicos de otros que no lo son. Aunque las autoridades competentes para la certificación regional de los alimentos ecológicos son las Consejerías de Agricultura y Departamentos de cada Comunidad Autónoma, como es el caso de Extremadura, Andalucía ha transferido el control y certificación de estos alimentos a entidades privadas. Un ejemplo de logotipo perteneciente a una empresa privada

certificadora de alimentos ecológicos andaluces y el logotipo de certificación ecológica en Extremadura se muestran en la figura 5.



Figura 5. Logotipo para el etiquetado e identificación de los productos ecológicos de Andalucía (a) y Extremadura (b).

1.7. El consumo de productos ecológicos en España.

En Europa el consumo de carne ecológica se está imponiendo como una alternativa a la convencional en clave de salud y conciencia medioambiental. Presumiblemente su demanda seguirá aumentando pese a que, como apunta el estudio publicado por Innova Market Insights (2016) “Top Food & Beverages Trends for 2016: Clean Eating”, los alimentos ecológicos tendrán que competir con otras tendencias de consumo saludable, como los productos veganos y/o vegetarianos.

Atendiendo a la demanda en volumen de carne ecológica de los últimos años, Europa se ha posicionado como el segundo consumidor y productor a nivel mundial de productos ecológicos, siendo Alemania, Francia, Reino Unido e Italia, por este orden, el mercado más importante de carne ecológica durante el año 2016 (FIBL, 2017). Respecto a dicha demanda, en España en 2016 se consumieron 29.500 toneladas de carne ecológica, lo que la sitúa como el quinto mercado europeo en importancia del sector cárnico ecológico (FIBL, 2017).

En 2016 el consumo de productos ecológicos en España alcanzó los 1.685,5 millones de euros, significando un crecimiento del mercado interior del orden del 12,51%. Se trata de un crecimiento realmente importante, en la línea de lo observado en los principales mercados mundiales de productos ecológicos (EEUU, Francia, Alemania, Reino Unido, Italia, Canadá, entre otros). Este crecimiento del consumo de los productos ecológicos ha permitido que éstos ya logren representar el 1,69% de la totalidad de la cesta de la compra alimentaria, alcanzándose un gasto per cápita en productos ecológicos

de 36,33 euros/habitante/año, un 68,9% superior al gasto per cápita que se registraba en 2012.

Según los últimos datos correspondientes a 2017 (MAPAMA, 2018), en España se registró una producción ganadera ecológica de carne de aproximadamente 1.300.00 cabezas de ganado, de las cuales 191.000 fueron de ganado vacuno. Estas cifras ponen de relieve un importante crecimiento en el consumo de productos ecológicos en general hasta 2015, cifrado con un incremento económico del 24,5% con respecto al año 2014 (figura 6).

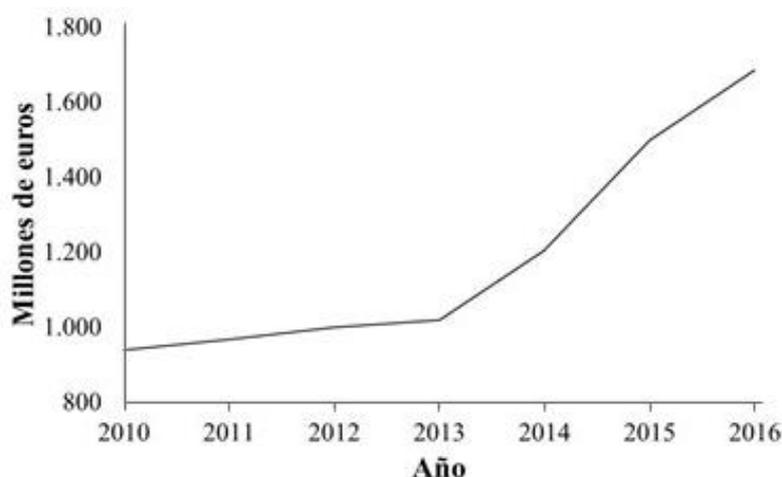


Figura 6. Consumo interior de productos ecológicos en España. Fuente: MAPAMA, 2018.

Particularmente, en Andalucía y Extremadura el consumo interno de carne ecológica sigue siendo el gran reto. De hecho, en diciembre de 2016 se ha observado que el consumo de este producto en España se polarizó fundamentalmente en las áreas metropolitanas de Barcelona y Madrid, y en zonas donde la población de extranjeros procedentes del norte de Europa es importante (MAPAMA, 2018).

Respecto a las decisiones de compra del consumidor de productos ecológicos, y conforme a diferentes estudios sociales acerca de hábitos de consumo (MAPAMA, 2018), se puede decir que la preferencia por el consumo de productos ecológicos frente a los convencionales reside en características fundamentalmente relacionadas con:

- La salud y seguridad alimentaria (percepción de ser más saludables y nutritivos).
- El rechazo al uso de pesticidas, fertilizantes de síntesis, hormonas, aditivos, etc. en la producción del alimento.
- La alta calidad, naturalidad, frescura, sabor del producto.

- La percepción de una producción respetuosa con el medioambiente y el bienestar de los animales.
- La percepción de mayor proximidad al campo, con origen conocido, auténtico, autóctono y tradicional.
- La percepción de una caracterización del producto coherente con una determinada cultura o filosofía de vida.
- La propia información sobre el producto.
- El respeto al bienestar de los animales y del entorno.

Estas motivaciones muestran la creciente preocupación de los consumidores por su salud, algo que constituye ya un estilo de vida y es un elemento clave de decisión de compra, que puede abrir camino en el sector de la producción de la carne ecológica.

Capítulo 2.

Revisión bibliográfica

2. Revisión bibliográfica.

2.1. La carne.

De acuerdo al Código Alimentario español, la carne se define como la parte muscular comestible de los animales de abasto sacrificados y faenados en condiciones higiénicas. Se incluyen las porciones de grasa, hueso, cartílago, piel, tendones, aponeurosis, nervios y vasos linfáticos y sanguíneos que normalmente acompañan al tejido muscular y que no se separan de él en los procesos de manipulación, preparación y transformación. De otra parte, el músculo esquelético es el sistema fundamental que después de la muerte del animal se transformará en carne. Por lo tanto, resulta importante conocer la estructura muscular y los procesos que operan sobre el mismo después del sacrificio para comprender las propiedades organolépticas de este producto.

Los músculos se encuentran conformados por la unión de un grupo de células que constituyen unidades contráctiles cuya función es brindarle su capacidad de movimiento. Cada una de estas unidades o células se conoce como fibra muscular. El músculo esquelético es un tipo de músculo estriado, debido a que al microscopio se observa una estructura estriada distribuida regularmente a lo largo de las fibras musculares. Se caracteriza por la organización compleja de proteínas que interactúan para permitir los movimientos voluntarios de los animales y constituye la mayor parte del peso de las canales (entre el 35 y el 68 %) de los animales de abasto (Lawrie, 1998).

Anatómicamente, el músculo esquelético se encuentra constituido por tres tipos de tejidos conectivos: epimisio (envuelve al músculo), perimisio (envuelve haces de fibras musculares) y endomisio (envuelve a la subunidad estructural del músculo, denominada miofibrilla) (Tornberg, 1996). Los diferentes tipos de tejido conectivo se continúan unos con otros y con los tendones, que por lo general están situados en los extremos del músculo. Además de proveer un medio de unión para el músculo, el tejido conectivo transmite los vasos sanguíneos y los nervios a las fibras musculares.

2.1.1. La fibra muscular.

Las fibras musculares, como estructura fundamental del músculo, son células multinucleadas que contienen los componentes celulares que permiten llevar a cabo la acción mecánica muscular (Pearson y Young, 1989). El diámetro de la fibra muscular es

variable (entre 10-100 μm) (Lawrie, 1998), tienen forma de filamento alargado y se reúnen en grupos que se disponen de forma paralela. Cada grupo de fibras musculares contiene vasos sanguíneos y se encuentra recubierto por tejido conectivo formando los fascículos musculares que se unen entre sí para dar origen al músculo. En la tabla 5 se detallan los diámetros medios de las fibras musculares del músculo *Longissimus dorsi* de diferentes especies de animales de abasto. En el caso de la especie bovina de ha descrito que el diámetro de las fibras musculares mide entre 55-67 μm (Rehfeldt *et al.*, 2004).

Tabla 5. Diámetro medio de la fibra muscular del músculo *Longissimus dorsi* de diferentes especies de animales de abasto.

Especie	Diámetro (μm)
Pollo	20
Caprino	22
Conejo	35
Ovino	25-50
Porcino	40-80
Bovino	55-67

Fuente: Rehfeldt *et al.* (2004).

Algunos factores intrínsecos al animal, como la especie, la raza, el sexo o la edad, y factores extrínsecos como el ejercicio o el estado nutricional del animal, pueden afectar a la estructura de la fibra muscular (Karlsson *et al.*, 1999; Vestergaard *et al.*, 2000; Oliván *et al.*, 2004).

La subunidad estructural y funcional de la fibra muscular es la miofibrilla. Se trata de estructuras cilíndricas largas y filiformes constituidas por proteínas que se disponen paralelas al eje longitudinal de la célula muscular. Presentan forma de varilla, de aproximadamente 1-3 μm de diámetro, y su estructura y disposición es la responsable de las propiedades contráctiles del músculo (Lawrence y Fowler, 2002). Las miofibrillas se encuentran incluidas dentro de una matriz proteica y gelatinosa denominada citoplasma celular o sarcoplasma, donde también se localizan las vitaminas, diferentes enzimas y la mioglobina. Las miofibrillas se encuentran cubiertas por una delgada membrana celular no transparente denominada sarcolema (figura 7). Una estimación realizada por Bailey (1972) señaló que en cada fibra muscular de 60 μm de diámetro hay cerca de 2.000 miofibrillas de 0,1 μm de diámetro aproximadamente.

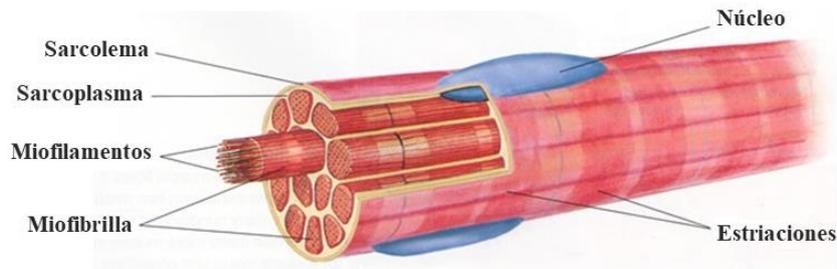


Figura 7. Esquema de las unidades estructurales del músculo esquelético (fibras musculares y miofibrillas). Fuente: Marieb (2009), con modificaciones.

Cada miofibrilla se compone de unidades proteicas de repetición denominadas sarcómeros, que dan la apariencia de músculo estriado bajo el microscopio (Huff-Lonergan *et al.*, 2010). Los sarcómeros son las unidades funcionales más pequeñas de la fibra muscular y cada uno de ellos contiene filamentos gruesos (formados fundamentalmente por miosina) y filamentos delgados (formados por actina, además tropomiosina y troponina) (figura 8). Las interacciones entre los filamentos gruesos y delgados son las responsables de la contracción muscular.

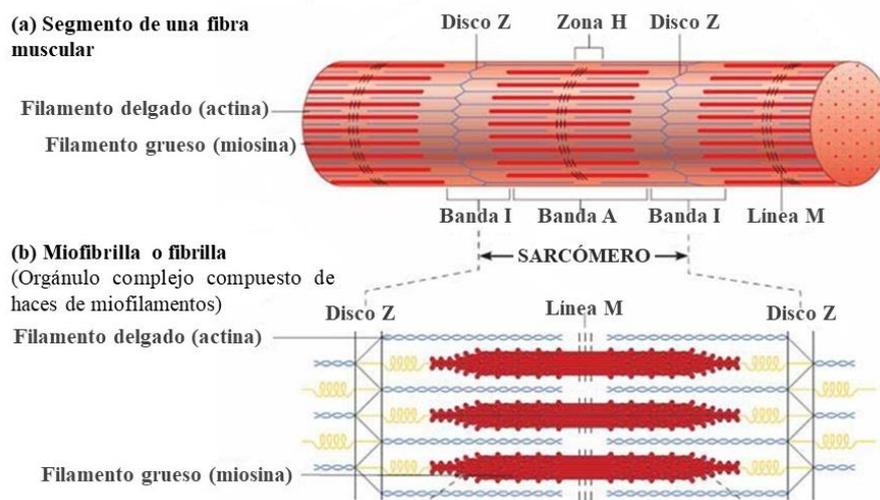


Figura 8. Representación esquemática de una unidad de sarcómero de la fibra muscular. (a) Segmento de una fibra muscular, (b) Miofibrilla o fibrilla. Fuente: Seeley *et al.* (2002), con modificaciones.

En estado de reposo muscular, la longitud de los sarcómeros de los mamíferos es aproximadamente de 2 μm . Concretamente en el músculo semitendinoso de bovinos los sarcómeros tienen una longitud aproximada de 2,2 μm (Herring *et al.*, 1967). Según detalla Au (2004) durante la contracción muscular la longitud inicial del sarcómero puede verse acortada hasta un 70%, 22-44% durante el *rigor mortis* y un 12-20% durante la maduración *post-mortem* (Gothard *et al.*, 1966).

2.1.2. Las proteínas musculares.

Según su ubicación en el paquete muscular, el tipo de fibra muscular, y en función de sus propiedades fisicoquímicas (como la solubilidad), el componente proteico del músculo se puede clasificar en tres categorías:

- **Proteínas miofibrilares.** Son proteínas que se encuentran localizadas en las miofibrillas y que están directamente relacionadas con la contracción y relajación muscular. Dentro de este grupo proteico se encuentran las proteínas contráctiles (actina y miosina), las reguladoras (tropomiosina y troponina) y las de sostén (titina y desmina) (Forrest *et al.*, 1974).
- **Proteínas sarcoplásmicas.** Son proteínas endocelulares e hidrosolubles, que se encuentran disueltas en el sarcoplasma de la célula muscular (fluido que se desprende de la carne durante el proceso de descongelación) (Olson *et al.*, 1976). Se trata de proteínas importantes por su actividad enzimática, de transporte y almacenamiento de oxígeno. Desde el punto de vista de la calidad de la carne, la mioglobina es presumiblemente la proteína sarcoplásmica más importante, ya que es la responsable molecular fundamental del color de la carne. La mioglobina es un pigmento intracelular que se sintetiza en las mitocondrias (Kanner, 1994). Otras proteínas sarcoplásmicas relacionadas con el color de la carne son la hemoglobina y las proteínas del citocromo.
- **Proteínas del tejido conectivo.** Comprenden los elementos estructurales en los cuerpos de los animales, proporcionando soporte y fuerza a la estructura del sistema muscular. A pesar de que las proteínas del tejido conectivo juegan un papel importante en la dureza de la carne son pocas las observaciones indicadoras de alteración de esta estructura durante los procesos bioquímicos de la maduración de la misma (Bailey, 1972). En el organismo, el tejido conectivo puede encontrarse en forma de láminas o bandas compuestas de hilos de fibras que están fundamentalmente constituidas por tres tipos de proteínas: el colágeno, la elastina y la reticulina (Pearson y Young, 1989; Valin, 1995).

La distribución de estos tres grupos de proteínas es desigual: se ha estimado que las proteínas miofibrilares constituyen entre el 50 y el 55%, las sarcoplásmicas aproximadamente el 30-34% y, por último, el 10-15% restante corresponde a las proteínas de tejido conectivo (Tornberg, 2005).

2.2. Conversión del músculo en carne.

La conversión de músculo en carne es un proceso bioquímico complejo ampliamente estudiado, que comienza tras el sacrificio del animal y que puede tener lugar durante un breve espacio de tiempo (horas o días) (Roncalés *et al.*, 1995). Durante este proceso se desarrollan de manera interdependiente los procesos bioquímicos en el músculo responsables del desarrollo de las cualidades propias de carne (Bendall, 1961). Los principales hechos bioquímicos que ocurren en este periodo de tiempo acontecen en tres fases desde el sacrificio del animal (Sentandreu *et al.*, 2002). Estas son las siguientes:

- **Fase *pre-rigor mortis***: ocurre inmediatamente tras el sacrificio del animal, debido al corte de la circulación sanguínea causada por el sangrado. Este proceso hace que se interrumpa de forma abrupta la llegada de oxígeno y nutrientes a las células y da lugar a una acidificación (descenso de pH) del tejido muscular (Bailey y Light, 1989). A medida que las reservas de glucógeno del músculo van disminuyendo éste sufrirá cambios bioquímicos y estructurales que hacen que las fibras musculares pierdan su capacidad de contraerse y extenderse, y sufran un acortamiento sarcomérico, provocando tensión y rigidez muscular que conduce a la instauración de la rigidez cadavérica (Penny, 1984; Koohmaraie, 1996).
- **Fase de *rigor mortis***: es en este momento, cuando el músculo alcanza su grado máximo de inextensión muscular y aparece la rigidez cadavérica o *rigor mortis* (Bendall, 1961; Koohmaraie, 1996), propiamente dicho. La carne presenta su punto de dureza máximo y alcanza el pH final debido al agotamiento de los recursos energéticos musculares. El pH desciende desde valores próximos a 7 en el músculo vivo hasta valores de 5,4-5,6 (Lawrie, 1998). Este valor es cercano al punto isoeléctrico de las proteínas musculares. En esta situación ocurre la desnaturalización de las proteínas y la reducción de la capacidad de retención de agua tisular, fenómenos causantes de la exudación (pérdida de jugo de la carne). El periodo de tiempo que transcurre hasta la aparición de la rigidez cadavérica es más largo en el ganado bovino y ovino (6-12 horas) que en otra especie como la porcina (1-6 horas), por ejemplo (Epley, 1992).
- **Fase *post-rigor mortis***: es el periodo de maduración propiamente dicha donde el ablandamiento o tenderización de la carne se produce por una pérdida de la estructura muscular por la acción de sistemas enzimáticos endógenos (Hui *et al.*, 2006; Weaver *et al.*, 2009; Huff-Lonergan *et al.*, 2010). Durante el proceso de

maduración de la carne cambian algunas propiedades organolépticas de la misma, como son la textura, el color o la jugosidad (Hui *et al.*, 2006).

A pesar de que numerosos estudios explican los procesos que provocan la instauración del *rigor mortis* y los cambios que ocurren durante la maduración (Gerelt *et al.*, 2000; Hopkins y Thompson, 2002), en la actualidad todavía no se ha conseguido explicar de forma exhaustiva el proceso de ablandamiento de la carne. No obstante, se conoce que este proceso transcurre por acción de complejos sistemas enzimáticos que actúan sobre la fibra muscular: sistema calpaína-calpastatina, sistema catepsina lisosomal o el sistema de proteosoma dependiente de ATP (Kemp *et al.*, 2010).

2.3. La calidad de la carne.

La calidad de un producto es un término complejo de definir de manera general. Podría decirse que la calidad de un alimento hace referencia al conjunto de atributos relacionados con la presentación, la composición y la pureza, que lo hacen genuino y apetecible al consumidor, y en el caso de los alimentos tiene en cuenta además los aspectos sanitarios y de valor nutritivo.

Según Kano *et al.* (1996), el término calidad referido a un alimento estaría incluido dentro de un modelo multidimensional dependiendo de su finalidad. En el caso concreto de los alimentos de consumo humano, este término se puede considerar desde diferentes puntos de vista atendiendo a los siguientes:

- **Calidad nutritiva:** relacionada con la capacidad del alimento para cubrir los requerimientos nutricionales del organismo. Está íntimamente relacionada con el tipo de nutrientes que contiene un alimento y cuál va a ser su efecto beneficioso o perjudicial en el consumidor.
- **Calidad higiénico-sanitaria:** hace referencia a la ausencia en el alimento de ciertos componentes bióticos (agentes patógenos como bacterias, parásitos, virus, priones, toxinas o alérgenos) y abióticos (residuos de medicamentos, plaguicidas, pesticidas, contaminantes, etc.) que comportarían un riesgo para la salud del consumidor.
- **Calidad tecnológica:** relacionada con la morfología, la conformación y la composición del alimento. Dentro de este término, son importantes las características que participan en la elaboración, preparación, transporte y

distribución del producto, sin olvidar el impacto que puedan tener o no estos procesos sobre el medioambiente.

- **Calidad de servicio o uso:** reúne aquellos atributos relacionados con la aceptación del alimento por parte del consumidor al facilitar su preparación, conservación o consumo.
- **Calidad ética o emocional:** agrupa un conjunto de propiedades diversas como el empleo de prácticas ecológicas u orgánicas en la producción de los alimentos, los aspectos de conservación de los recursos naturales o la sostenibilidad medioambiental, el bienestar de los animales y la protección del medioambiente o el desarrollo sostenible.
- **Calidad organoléptica:** hace referencia a las cualidades sensoriales (color, textura, aroma y sabor) de apreciación hedónica que el consumidor espera que posea el alimento una vez ingerido, basándose en experiencias pasadas e ideas que son complementadas por reacciones emocionales. Este punto de vista tiene gran importancia en la evaluación de la calidad general por el consumidor que llevará a rechazar un producto si no alcanza un nivel suficiente de satisfacción.

Desde cualquier punto de vista, la calidad es un término con un importante grado de subjetividad que varía según los criterios individuales de quien valora. No obstante, con idea de definir las características organolépticas que presentan los productos alimentarios se han propuesto diversos métodos objetivos que permiten caracterizar las cualidades sensoriales de los alimentos. Concretamente, estas metodologías (que se desarrollan a continuación) se vienen aplicando en la carne de las diferentes especies de abasto, permitiendo conocer de manera objetiva sus características organolépticas. Este conocimiento contribuye al desarrollo de los productos alimentarios y a aportar información objetiva al consumidor acerca de las características del producto que se le ofrece y en nuestro caso a poder aportar conocimiento sobre las características de calidad de la carne ecológica y a determinar posibles diferencias en los parámetros de calidad frente a la carne producida de forma convencional.

2.4. Parámetros para determinar la calidad de la carne.

Los principales parámetros para determinar la calidad instrumental y sensorial de la carne pueden ser los siguientes: pH, color, capacidad de retención de agua, textura y sus atributos sensoriales.

2.4.1. El pH de la carne.

El pH se define como el $-\log [H^+]$ de una disolución. Se trata de un valor que determina si una sustancia es ácida (valores por debajo de 7), neutra (valor de 7) o básica (valores por encima de 7). Esta es una característica química cuya evolución *post-mortem* influirá en los procesos de maduración de la carne y en la calidad final organoléptica y tecnológica. Este parámetro tiene una gran influencia en la textura final de la carne, en la capacidad de retención de agua, en la resistencia al desarrollo microbiano y en el color, entre otros parámetros.

Fundamentalmente, la determinación del valor de pH en la carne se realiza mediante el uso de electrodos, habitualmente de penetración (Garrido *et al.*, 2005). Las medidas se realizan introduciendo dicho electrodo en forma perpendicular al paquete muscular, evitando en lo posible, el contacto de la sonda con la porción grasa de la carne.

Los cambios de pH que ocurren en el músculo durante las primeras 24 horas después del sacrificio de los animales de abasto son importantes para determinar la calidad final de la carne (Andersen *et al.*, 1999). Tanto el valor final de pH, o pH último (pH_u), que es medido a las 24 horas después del sacrificio de los animales, como la velocidad de caída del mismo durante la transformación del músculo en carne, pueden afectar a las características finales de este producto.

En el caso del ganado vacuno, el pH inicial del músculo *Longissimus dorsi* es próximo a 7 disminuyendo a valores últimos entre 5,5-5,7 a las 24-48 horas *post-mortem* (Pearson y Young, 1989). Valores fuera de ese rango indican una posible merma de la calidad de la carne. Este hecho va asociado normalmente a carnes de calidad deficiente, denominadas carnes DFD (*dark, firm and dry*) y carnes PSE (*pale, soft and exudative*) (Briskey, 1964). El defecto DFD está presente en todas las especies, mientras que el PSE afecta mayoritariamente a especies donde predominan las fibras musculares blancas. Las carnes DFD se caracterizan por ser más oscuras, con alta capacidad de retención de agua, de aspecto seco en su superficie, de consistencia más firme y de incierta conservación, lo cual afecta negativamente a su apariencia. De otra parte, las carnes PSE se caracterizan por ser carnes más claras, blandas y gran facilidad para liberar su agua constitutiva (De la Fuente *et al.*, 2005).

Son muchos los factores *ante* y *post-mortem* que influyen en el descenso del pH de la carne. Diversos trabajos detallan el efecto de cada uno de éstos (Vestergaard *et al.*, 2000; Bond y Warner, 2007; Ruiz de Huidobro *et al.*, 2013). En relación con factores *ante-mortem* intrínsecos del animal, Oliván *et al.* (2003) señalan que la raza no sería un factor importante de variación de este parámetro en el ganado bovino. Con respecto a los factores extrínsecos, el estrés previo al sacrificio por un manejo inadecuado (transporte, ayuno prolongado, etc.) ha sido descrito que tiene un efecto directo sobre los valores finales de pH provocando problemas de calidad en la carne (Amtmann *et al.*, 2006).

2.4.2. El color de la carne.

El color es el atributo visual que puede determinarse de manera instrumental mediante colorimetría o espectrofotometría de reflectancia. El color de la carne fue definido por Dunne (2003) como "el color obtenido por un trozo de tejido muscular fresco o madurado de un espesor predefinido, normalmente de 2,5 cm, con su superficie de corte perpendicular a la dirección de las fibras musculares". Este color generalmente se logrará tras la exposición de la carne a las concentraciones atmosféricas normales de oxígeno, en la oscuridad, de modo que se produzca la oxigenación de la mioglobina (*blooming*).

El sistema de representación del color más utilizado para los productos animales es el CIE $L^*a^*b^*$, que fue desarrollado por la Comisión Internacional de la Iluminación (*Commission Internationale d'Eclairage*) (CIE, 1986). Este sistema es un modelo tridimensional que emplea las coordenadas tricromáticas L^* (luminosidad), a^* (índice de rojo) y b^* (índice de amarillo) (figura 9).

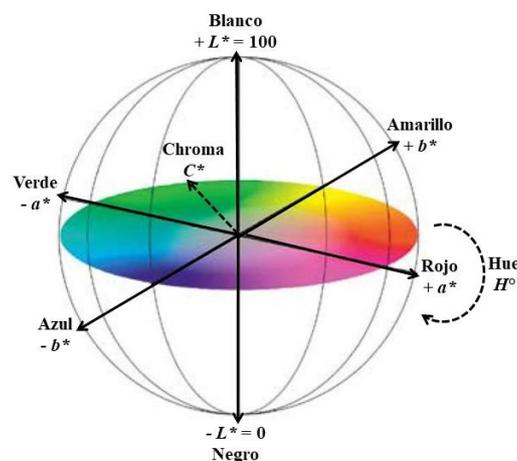


Figura 9. Representación esquemática del Sistema CIELab (CIE $L^*a^*b^*$, 1986) y sus coordenadas C^* y H° . Fuente: Basada en ilustración tomada de www.artacademie.com, con modificaciones.

El contenido en pigmentos hemínicos (principalmente la concentración de mioglobina y su forma química) es el factor intrínseco más importante responsable del color de la carne (Beriaín *et al.*, 2009). Durante el periodo de maduración, el color de la carne fresca sufre una serie de modificaciones determinadas fundamentalmente por la concentración y proporción de cada una de las formas químicas de la mioglobina (Ordoñez *et al.*, 1998), de acuerdo al estado químico en el que se encuentre el átomo de hierro del grupo hemo. Estas formas químicas (representadas en la figura 10) son las siguientes:

- Deoximioglobina o mioglobina reducida (Mb): ocurre cuando el hierro se encuentra en su forma reducida (Fe^{2+}). La carne presenta un color rojo-púrpura. Esta forma química es la que se encuentra en el interior de la carne donde no hay oxígeno o en la carne recién cortada.
- Oximioglobina (MbO_2): cuando el oxígeno se encuentra como un ligando del átomo de hierro, y éste último presenta su estado ferroso (Fe^{2+}). Esta forma química es la responsable del color rojo-cereza brillante característico de la carne fresca y valorado positivamente por el consumidor.
- Metamioglobina (MMb): cuando el átomo de hierro se oxida a Fe^{3+} y se une una molécula de agua. Esta forma química es el pigmento que aporta el color marrón pardo a la carne.

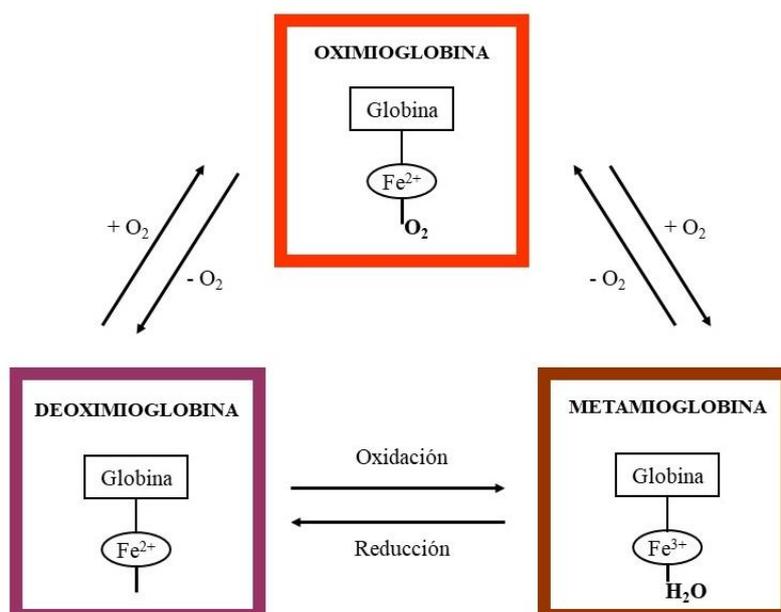


Figura 10. Reacciones químicas que ocurren entre las formas básicas de la mioglobina dependiendo del estado oxidativo del hierro del grupo hemo. Fuente: Ordoñez *et al.* (1998), con modificaciones.

Tanto el tiempo de almacenamiento como la temperatura y el valor de pH tienen un gran efecto sobre la estabilidad del color (Jacob, 2014). La temperatura de almacenamiento afecta al color del músculo debido a su efecto sobre la velocidad de las reacciones químicas y a su influencia sobre el crecimiento microbiano. Cuando la carne empieza a decolorarse es un indicativo de que se está llegando al final de su vida útil (Miller, 1994). En relación a la cantidad de luz reflejada por la superficie de la carne y su efecto sobre el color de la misma, la evolución del valor de pH *post-mortem* influye en el color de la carne ya que afecta a la estructura de la superficie muscular y la proporción de luz incidente que es reflejada. Así, cuanto mayor es el valor de pH a las 24 horas, la red proteica deja penetrar profundamente los rayos de luz y ésta es absorbida en una parte importante, lo que se traduce en un color oscuro a la vista del observador (Seideman *et al.*, 1984).

Según detallan Pérez y Andújar (2008), y Brugiapaglia y Destefanis (2009), entre otros, podría decirse que el color es el factor que más afecta al aspecto de la carne y de los productos cárnicos durante el almacenamiento, y es uno de los criterios más importantes para valorar la aceptabilidad de la carne por parte del consumidor en el momento de la compra.

2.4.3. La Capacidad de Retención de Agua de la carne.

La capacidad de retención de agua (CRA) puede definirse como la aptitud de la carne para retener el agua de constitución y/o el agua añadida (Honikel y Ham, 1994). Posteriormente, la CRA fue definida por Zhang *et al.* (2005) y Pearce *et al.* (2011) como la habilidad de la carne de retener su agua constitutiva cuando se le aplica alguna fuerza externa como puede ser el corte, el picado, la cocción o el prensado, entre otras.

El músculo está constituido por agua, proteínas, carbohidratos, minerales y vitaminas, siendo el agua el mayor componente del músculo. Así, el contenido medio de humedad en tejidos magros es cercano al 75% de su peso total, localizándose el 80-85% dentro de la matriz proteica, o lo que es lo mismo, en el interior de los filamentos del sarcómero (Tornberg, 2005). Su distribución y movilidad dentro de la estructura muscular influye en los atributos de calidad de la carne, fundamentalmente en lo referente a la jugosidad, la dureza, la firmeza y su apariencia (Trout, 1988).

Atendiendo a los distintos mecanismos por los cuales el agua es retenida en la estructura muscular, Hamm (1986) propuso cuatro maneras objetivas para medir la CRA:

- **Pérdidas por goteo** (*drip-loss*): determinadas por la formación de un exudado sobre la superficie de la carne sin aplicación de fuerzas externas, por gravedad. Se determinan por la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la carne expuesta a la fuerza de la gravedad. El agua perdida procede exclusivamente del espacio extracelular.
- **Pérdidas por descongelación** (*thawing-loss*): producen un exudado sobre la superficie de la carne tras el proceso de congelación y descongelación.
- **Pérdidas por cocinado** (*cooking-loss*): referidas a los fluidos liberados tras el calentamiento de la carne en condiciones controladas. Existen diferentes métodos para su medida que difieren principalmente en la temperatura y en el tiempo de cocinado. El líquido liberado procede de los espacios intra y extracelulares de las células musculares.
- **Jugo exprimible** (*expressible juice*): referidas a cantidad de agua que se libera de la carne como consecuencia de la aplicación de fuerzas mecánicas externas tales como la compresión, la centrifugación o la succión. La fuerza aplicada provoca la liberación del fluido desde los espacios intra y extracelulares de las células musculares.

La procedencia del agua liberada es diferente según el método a seguir, de forma que los resultados obtenidos a partir de los métodos descritos no son comparables entre sí. Existen diversos factores que condicionan la CRA de la carne procedente del ganado bovino. Así, se ha descrito que este valor aumenta con la edad de los animales (Wismer-Pedersen, 1994). Estas pérdidas de agua son importantes no sólo desde un punto de vista económico y tecnológico, sino también desde la perspectiva de la sensación organoléptica de la carne durante su preparación y consumo (Offer *et al.*, 1989).

2.4.4. La textura de la carne. Propiedades reológicas.

La textura es un importante indicador de la calidad de la carne que engloba el atributo de ternura, o su inverso, la dureza (Chrystall, 1999). La textura es un parámetro difícil de definir ya que las propiedades asociadas a este atributo son complejas. Sin embargo, Szczesniak (1963) definió la textura de la carne como la manifestación sensorial de la estructura del alimento y su forma de reaccionar frente a la aplicación de fuerzas externas. Este parámetro está físicamente relacionado con los atributos mecánicos, geométricos y de superficie de un producto (Taylor y Goll, 1995).

En general, los métodos objetivos para evaluar la textura de la carne se pueden agrupar en dos grupos: métodos indirectos y directos. Dentro de los métodos directos, en diferentes referencias se proponen los métodos instrumentales y sensoriales. De los métodos instrumentales, la mayoría de autores emplean la prueba de corte, como el método de Warner-Bratzler (Honikel, 1997), aunque también se ha propuesto el Análisis de Perfil de Textura en el que se determinan propiedades de la carne relacionadas con la masticabilidad de este producto. Cada una de estas técnicas proporciona información complementaria que describe las propiedades de textura. Ambas técnicas se realizan mediante el uso de un texturómetro, aparato con el que se obtienen medidas objetivas de las propiedades de textura, mediante el cálculo de la resistencia a la deformación o corte de una muestra al aplicar una fuerza determinada.

En los ensayos de evaluación de las propiedades de textura, también es importante considerar el tamaño y la geometría de las muestras, así como la dirección de las fibras en el momento del ensayo, ya que se ha observado que ambos tienen gran influencia sobre estas propiedades (Guerrero y Guardia, 1999).

De todos los atributos de textura, la ternura es probablemente el más importante durante el consumo de la carne, ya que según detallan Belk *et al.*, (2001) y Kannan *et al.* (2002) es un atributo que determinará en gran medida la aceptación o el rechazo de este producto por parte del consumidor. La ternura es definida como la dificultad o la facilidad con la que una carne se puede cortar y/o masticar (Aberle *et al.*, 2001; Belk *et al.*, 2001; Kannan *et al.*, 2002; Hui *et al.*, 2006).

La textura de la carne está directamente relacionada con las estructuras miofibrilares, conjuntivas y del citoesqueleto muscular, las cuales van a variar dependiendo de factores intrínsecos y extrínsecos al animal (Hui *et al.*, 2006). Las variaciones en la textura de la carne pueden estar relacionadas con aspectos *ante-mortem* como son la especie animal, la raza, el sexo, la edad, la alimentación de los animales o incluso el peso de sacrificio o la susceptibilidad al estrés previo al sacrificio de los animales. Además, según detallan Koohmaraie *et al.* (2002) o Descalzo *et al.* (2007) entre otros autores, la textura está fuertemente relacionada con los cambios físicos *post-mortem* de las estructuras del músculo esquelético (estructura miofibrilar), con la actividad enzimática durante la maduración de la carne, con la cantidad de tejido conectivo, con los

cambios en la longitud de los sarcómeros o con el contenido de la grasa en los espacios inter e intramusculares.

2.2.4.1. Test de Warner-Bratzler.

El ensayo Warner-Bratzler (WB) es una prueba empírica universalmente utilizada (Warner-Bratzler, 1928) que mide la fuerza necesaria para cortar un trozo de carne mediante el uso de una cuchilla de borde romo y un corte triangular en el centro, de manera que cuanto mayor sea la fuerza utilizada para el corte más dura es la carne (Szczesniak y Torgeson, 1965). En este ensayo intervienen fuerzas de tensión, como son el corte y la compresión (Bourne 1982) y la cuchilla utilizada (célula de WB) que imita el corte realizado por los dientes incisivos.

Para este ensayo, como ha sido indicado, se utiliza una lámina que posee un orificio triangular de bordes romos bajo la que se coloca la muestra de carne. Deslizándola a velocidad constante se cizallan las fibras musculares que han sido colocadas de forma perpendicular a la dirección del corte, registrándose así la fuerza ejercida con un dinamómetro de resorte. Mediante este análisis se obtienen gráficas como la que se muestra en la figura 11.

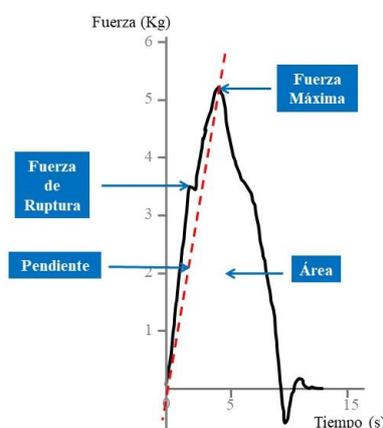


Figura 11. Representación gráfica de los parámetros obtenidos en un test de Warner-Bratzler. Fuente: Bourne (1982), con modificaciones.

El ensayo de WB puede proporcionar información sobre las propiedades de textura de la carne debidas a sus dos componentes estructurales, los miofibrilares y los del tejido conectivo (Poste *et al.*, 1993; Honikel, 1997). Los parámetros mecánicos que se pueden obtener y las dimensiones en que generalmente se expresan los resultados del test de WB se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Definiciones y análisis dimensional de los parámetros del test de Warner-Bratzler.

Parámetro mecánico	Descripción	Variable	Unidades
Fuerza máxima	Fuerza máxima alcanzada para el corte completo de la muestra (también relacionado con la resistencia debida a los componentes del tejido conectivo).	Presión	kg•cm ⁻²
Pendiente o firmeza al corte	Inclinación de la parte recta de la curva que se obtiene en la prueba de Warner-Bratzler, trazada desde el origen hasta el punto de fuerza máxima.	Velocidad	kg•s ⁻¹
Área o trabajo	Trabajo total necesario para el corte completo de la muestra.	Trabajo	kg•s

Fuente: Bourne (1982).

En el ensayo de WB son muchos los factores a tener en cuenta para obtener una medida exacta. Los más importantes son la uniformidad de la muestra, la temperatura de cocinado, la dirección de las fibras musculares, la cantidad y distribución del tejido conjuntivo, la presencia y cantidad de materia grasa, la temperatura de la muestra en el momento del ensayo y la velocidad de la cizalla (Warner-Bratzler, 1928).

2.2.4.2. Análisis del Perfil de Textura.

El análisis de perfil de textura (TPA) es uno de los ensayos de compresión más usados para alimentos. Este ensayo mide la resistencia de la carne a la compresión hasta un nivel de deformación determinado utilizando para ello una sonda con forma de émbolo plano.

El análisis de TPA está basado en la aplicación de fuerzas con instrumentos de superficies de compresión en tres configuraciones:

- La longitudinal: cuya fuerza se aplica perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares y la deformación de la muestra que se produce paralelamente a dicho eje.
- La transversal: cuya fuerza se aplica también perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares, pero la deformación es perpendicular a dicho eje.
- La axial, cuya fuerza se aplica paralelamente a la dirección de las fibras musculares y la deformación es perpendicular a su dirección (Lepetit y Culioli, 1994).

A partir del gráfico de TPA (figura 12) se obtienen los parámetros que definen las propiedades reológicas del alimento.

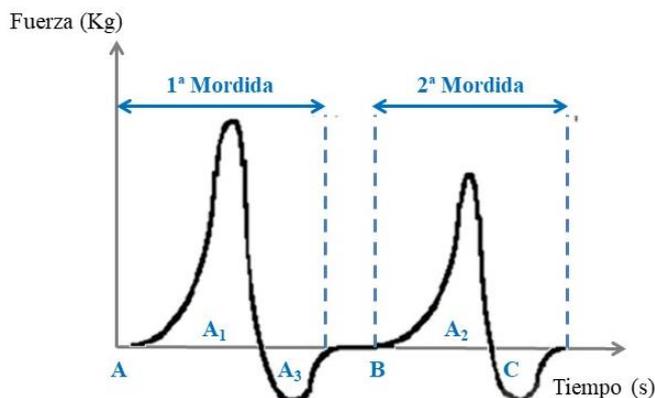


Figura 12. Gráfico representativo de un análisis de perfil de textura en una muestra de carne.
Fuente: Bourne (1978).

En la tabla 7 se muestran las definiciones de los parámetros de textura obtenidos mediante el ensayo TPA y el análisis dimensional de los parámetros resultantes de la determinación del perfil de textura.

Tabla 7. Descripción de los parámetros de textura obtenidos mediante el análisis de perfil de textura.

Parámetro mecánico	Descripción	Variable	Unidades
Dureza	Fuerza para comprimir un alimento entre los molares.	Fuerza	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Elasticidad	Extensión a la que un alimento comprimido retorna a su tamaño original cuando se retira la fuerza.	Distancia	m
Adhesividad	Trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie de la sonda.	Trabajo	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$
Fracturabilidad	Fuerza a la que el material se fractura.	Fuerza	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Masticabilidad	Energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser ingerido.	Trabajo	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Gomosidad	Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que está listo para ser ingerido.	Fuerza	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Resiliencia	Capacidad de un cuerpo para volver a su forma inicial tras ser sometido a una fuerza externa.	Relación	Adimensional
Cohesividad	Fuerza que mantiene unido los enlaces internos que existen entre las partículas que integran un alimento.	Relación	Adimensional

Fuente: Bourne (1978).

2.4.5. La grasa de la carne.

Las grasas se definen como un grupo heterogéneo de compuestos que son insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos tales como éter, cloroformo, benceno o acetona. Se trata de un grupo de sustancias constituidas fundamentalmente por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, que además pueden presentar en su composición átomos de nitrógeno, fósforo y en menor proporción azufre. La grasa es el término genérico usado para agrupar varias clases de lípidos, aunque desde el punto de vista nutricional, los componentes lipídicos de mayor interés de la grasa intramuscular son los triglicéridos, los fosfolípidos, el colesterol y las vitaminas liposolubles. Los triglicéridos componen la fracción lipídica predominante y constituyen fundamentalmente la reserva energética del organismo. Los fosfolípidos se encuentran en la carne en una cantidad baja pero constante, y son los principales constituyentes de las membranas celulares (Rule *et al.*, 1994).

El contenido total de grasas se determina comúnmente por métodos de extracción con disolventes orgánicos. En todas las técnicas de extracción la muestra de carne se homogeniza y se pone en contacto con una mezcla de los disolventes orgánicos (cloroformo, metanol, éter de petróleo, etc.). El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso.

Desde el punto de vista de la calidad de la carne, el depósito de grasa intramuscular es importante ya que participa en todas sus propiedades sensoriales y determina, junto a otros elementos constitutivos, su valor nutritivo. La grasa participa en la textura, en la jugosidad y en el sabor y aroma de la carne. Así, tanto la cantidad de grasa como su naturaleza tienen importancia sobre la aceptabilidad de los consumidores.

2.4.6. Las propiedades sensoriales de la carne.

El análisis sensorial es la disciplina científica que permite medir de forma objetiva y reproducible las características de un producto mediante los sentidos. Aunque existen multitud de métodos analíticos de laboratorio que permiten medir con precisión los atributos de calidad del alimento, estos también se pueden medir a través de los sentidos humanos de la vista, el olfato, el gusto y el tacto.

A la hora de evaluar un producto como la carne, cuyo destino es el consumo humano, resulta imprescindible este tipo de análisis. Su importancia radica en que las

características sensoriales son elementos claves en la preferencia y la aceptabilidad de los alimentos por parte de los consumidores, quienes también tienen en cuenta aspectos nutritivos, de inocuidad y de servicio.

En la tabla 8 se presenta una comparación entre los métodos instrumentales y sensoriales para valorar los atributos de calidad de la carne, señalando las ventajas e inconvenientes de unos y otros.

De forma general, la obtención de una medida sensorial de calidad depende de dos aspectos fundamentales: los individuos utilizados y las características de ejecución de la prueba. En función de los objetivos planteados, la evaluación sensorial puede realizarse con personas seleccionadas y entrenadas (“catadores”) o con consumidores que medirán su grado de satisfacción y aceptación de manera subjetiva. Además, de acuerdo con Martínez-Cerezo (2005), la evaluación sensorial se puede llevar a cabo mediante distintos tipos de pruebas: pruebas discriminantes o descriptivas; pruebas hedónicas o afectivas; estudios de consumidores y método del producto ideal.

Tabla 8. Análisis comparativo entre la valoración sensorial e instrumental de la carne.

Medidas sensoriales	Medidas instrumentales
Muy sensibles.	La sensibilidad depende del detector.
No requieren grandes equipamientos.	A veces requieren equipamientos muy caros.
Pueden evaluar una amplia gama de atributos.	Limitados a un reducido número de atributos.
Necesitan gran cantidad de producto.	Emplean una cantidad variable de muestra.
Son destructivas.	Son destructivas y no destructivas.
Requieren un número elevado de jueces.	Un operador suele ser suficiente.
Poco estables en el tiempo.	Más estables en el tiempo.
Los productos deben ser inocuos.	No es indispensable controlar la toxicidad.
La carne debe estar cocinada.	Se pueden realizar sobre carne cruda.
Muy sensibles.	La sensibilidad depende del detector.

Fuente: Sañudo (1992) y Martínez-Cerezo (2005), con modificaciones.

2.5. La carne ecológica, aspectos físico-químicos y valoración por los consumidores.

El temor desencadenado en los consumidores por las sucesivas crisis alimentarias y escándalos ocurridos en Europa y por ciertos avances tecnológicos como son la manipulación genética de los animales de abasto viene siendo el catalizador de la creciente exigencia de los consumidores por garantizar la transparencia y los controles de calidad basados en el control de los métodos de producción. De hecho, en Europa, según detalla Zanoli (2004) se ha observado una relación directa entre el aumento de venta de

productos cárnicos controlados en producción ecológica y la aparición de los últimos escándalos alimentarios.

Junto con el aumento del consumo de alimentos ecológicos han surgido diversos cuestionamientos por parte de los consumidores. Así, el consumidor busca saber si la composición nutricional de los alimentos ecológicos es diferente a sus equivalentes tradicionales convencionales y si existen aspectos relacionados con el sistema productivo o de procesado de la carne que le confiera un valor ético adicional frente a la producción convencional. Según Walkenhorst (2005), los objetivos de la certificación ecológica, además de asegurar la calidad organoléptica, pretenden cumplir tres aspectos básicos relacionados con el sistema de producción de los alimentos: el ético (responsabilidad hacia el ser humano y animal), el ecológico (responsabilidad hacia las diferentes partes del ecosistema) y los aspectos culturales de calidad. En este sentido, actualmente en Europa existe un número cada vez más importante de consumidores que se preocupan por la relación que existe entre la ingestión de alimentos y su salud, y en particular, muestran cierta inquietud ante las prácticas de manejo que reciben los animales para la producción de alimentos. Concretamente, los consumidores vienen tomando conciencia de la repercusión que tiene sobre su salud el uso de determinados productos como sustancias promotoras del crecimiento de los animales o el empleo de alimentos transgénicos para la alimentación de los animales de abasto. De otra parte, cada día el consumidor va tomando más conciencia acerca de las prácticas de manejo que tienen en cuenta el bienestar de los animales y la protección del medioambiente (Caballero *et al.*, 2003; Zanolí, 2004).

Existe una percepción por parte de los consumidores de que los alimentos ecológicos son más sanos que los de producción convencional y los asocia con una serie de valores como son “alimento natural”, “alimento sano, sin aditivos ni colorantes”, “sin pesticidas” y “con mejor sabor”, además de “más caros” (Henchion *et al.*, 2017). Estos alimentos tienen el respaldo de garantía basado en el cumplimiento de la normativa de producción (Reglamento CE 834/2007). En gran parte, las granjas de producción ecológica se adecúan al alto grado de exigencia que los consumidores demandan en la calidad de los productos obtenidos, además de potenciar ciertos valores añadidos como la biodiversidad racial, la conservación de la variabilidad genética o la protección de los espacios naturales.

Según detallan Mata *et al.* (2003) el sistema de producción ecológica debería ofrecer a la carne cualidades organolépticas genuinas y diferenciadas de la carne obtenida a partir del sistema de producción convencional. Fundamentalmente, los sistemas de producción ecológica de carne están basados en modelos de producción extensiva donde los animales aprovechan los recursos de amplias zonas de pasto o pradera (González *et al.*, 2011a). En este sentido, Jurie *et al.* (2006) observaron que la carne procedente de animales criados en sistemas de extensividad presenta un color rojo más oscuro que la carne procedente de animales criados en modelos de cebo intensivo. Además, el pastoreo proporciona una mayor estabilidad de color de la carne debido a la presencia de agentes antioxidantes naturales procedentes del pasto. Según detallan Falowo *et al.* (2014), cuando los animales reciben α -tocoferol y otros antioxidantes a través de la hierba que consumen, parte de estos compuestos son acumulados en el músculo. Este hecho aumenta la estabilidad ante los procesos de oxidación de la carne proporcionándole una mayor vida útil en comparación con la carne procedente de animales criados en sistemas intensivos.

En relación a la cantidad de grasa intramuscular, se ha descrito que los animales criados en sistemas extensivos presentan menor cantidad que los animales criados en sistemas intensivos (Nuernberg *et al.*, 2005). Desde el punto de vista nutritivo, existe un gran interés sobre la búsqueda de carnes con una composición grasa menos perjudicial para la salud humana. Diferentes estudios médicos y epidemiológicos asocian la grasa saludable con aquella que presenta elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados, una relación ácidos grasos AGPI/AGS alta o una relación AGPI n-6/n-3 baja (Griel *et al.*, 2006; Kris-Etherton *et al.*, 2007). La composición en ácidos grasos de la grasa intramuscular, así como la relación entre grupos de n-6 y n-3 están influidas por el tipo de alimentación de los animales (De Smet *et al.*, 2004; García *et al.*, 2008). Así, según detallan Bauman *et al.* (2006), se observa que los animales que reciben dietas con alta proporción de hierba tienen tendencia a presentar, con respecto a los que han recibido alimento concentrado, una mayor relación AGPI/AGS, un mayor contenido de AGPI n-3, y una menor relación n-6/n-3.

Otro atributo potencialmente diferenciador que el consumidor de carne valora es la ternura, siendo uno de los criterios determinantes de la calidad en la carne de vacuno (Thomson, 2002). La dureza de la carne se encuentra directamente relacionada con el sistema de alimentación basado en el aprovechamiento de pastos o por el uso de forrajes ya que en la carne se observa una reducción de la infiltración de grasa (Nuernberg *et al.*,

2005) y un incremento de la proporción de fibras musculares rojas (Vestergaard *et al.*, 2000). En cuanto a la valoración sensorial de la carne, en un estudio realizado en Irlanda con bovinos de edades comprendidas entre los 18 y los 24 meses, Walshe *et al.* (2006) llegaron a la conclusión de que la valoración de la carne de producción ecológica fue positiva, a pesar de que este producto era más duro que el obtenido a partir de animales criados en sistemas convencionales intensivos en los que el acceso al pasto era prácticamente inexistente.

En la actualidad existen multitud de estudios que tratan sobre los diferentes sistemas de producción (Rigby y Cáceres, 2001; Nardone *et al.*, 2004), sobre el bienestar y la salud de los animales (Borell y Sorensen, 2004; Lund, 2006) y sobre el mercado de alimentos ecológicos (especialmente el sector de los consumidores) (Ayuni y Rennie, 2012), sin embargo, son pocos los estudios basados en el análisis de las diferencias en el contenido nutritivo o la calidad organoléptica de los alimentos producidos bajo un sistema ecológico y los sistemas convencionales de producción. Por ello, el desarrollo de acciones de investigación en el sector cárnico de producción ecológica resulta fundamental para conseguir la diferenciación de la producción de carne ecológica e impulsar su valor. Ahondar en el conocimiento para conseguir mejorar la calidad de la carne de producción ecológica desde el punto de vista de su valor nutritivo y organoléptico puede suponer una oportunidad para la producción ecológica.

Capítulo 3.

Objetivos

3. Objetivos.

Ante los antecedentes anteriormente presentados, y con el propósito de aportar información acerca de las características de la carne bovina ecológica y poder identificar elementos diferenciadores de calidad, el objetivo general de la presente Tesis doctoral ha sido analizar los parámetros de calidad y las características sensoriales de la carne de los terneros de raza Retinta producidos en dos modelos de producción ecológica, basados en la disponibilidad de pasto y de alimento concentrado.

Para la consecución de este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Estudiar la influencia de dos modelos de producción ecológica (basado en el uso del pastoreo *vs.* uso de alimento concentrado con forraje en cebadero) sobre la composición proximal (contenido en agua, proteína, grasa y cenizas) de la carne procedente de los terneros de raza Retinta.
2. Estudiar la influencia de dos modelos de producción ecológica (basado en el uso del pastoreo *vs.* uso de alimento concentrado con forraje en cebadero) sobre el color instrumental de la carne de los terneros de raza Retinta durante 21 días de maduración.
3. Estudiar la influencia de dos modelos de producción ecológica (basado en el uso del pastoreo *vs.* uso de alimento concentrado con forraje en cebadero) sobre la textura de la carne de los terneros de raza Retinta durante 21 días de maduración.
4. Estudiar la influencia de dos modelos de producción ecológica (basado en el uso del pastoreo *vs.* uso de alimento concentrado con forraje en cebadero) sobre la apreciación sensorial de los consumidores de la carne de los terneros de raza Retinta.
5. Comparar la calidad de la carne de los terneros de raza Retinta de dos modelos de producción ecológica (basado en el uso del pastoreo *vs.* uso de alimento concentrado con forraje en cebadero) frente a un modelo de producción convencional.

La consecución de estos objetivos pretende aportar información acerca del sistema de producción de carne ecológica al sector ganadero y comercializador en respuesta a la actividad emergente de este tipo de producción. De otra parte, con este trabajo se pretende

dar respuesta eficiente a la creciente sensibilización y exigencias del consumidor que demanda modelos de producción sostenibles con el medioambiente y el mantenimiento y desarrollo de la actividad rural.

Capítulo 4.

Material, métodos y diseño experimental

4. Material, métodos y diseño experimental.

4.1. Material animal.

Para la realización de este estudio se emplearon 90 terneros machos enteros de raza Retinta. El ensayo se realizó durante los años 2012 y 2013.

Atendiendo a las características productivas objeto de este estudio, los animales se agruparon aleatoriamente en tres lotes experimentales: Ecológico de pasto (EP, n=30), Ecológico de cebo (EC, n=30) y Cebo convencional (CC, n=30). Las condiciones productivas de los diferentes lotes fueron las siguientes:

4.1.1. Ecológico de pasto (EP).

Se seleccionaron 30 terneros machos (15 terneros por año) del rebaño experimental de la Junta de Extremadura, en las instalaciones de la Finca Valdesequera (Badajoz) adscrita a la Asociación nacional de criadores de ganado vacuno selecto de raza Retinta, y que, siguiendo la normativa comunitaria de producción ecológica (Reglamento CE 834/2007), permanecieron en libertad en la *dehesa* con las madres hasta su destete aproximadamente a los 6 meses de edad (200 ± 20 kg de peso). Posteriormente, los terneros fueron apartados de sus madres y permanecieron en los pastos de *dehesa* aprovechando los recursos naturales en amplias parcelas sin arbolado y con libertad de movimiento (figura 13).



Figura 13. Terneros de raza Retinta del lote Ecológico de Pasto. Autora: María Amparo Cabeza de Vaca.

De acuerdo a las normas de producción ecológica, las parcelas no fueron abonadas ni tratadas en los últimos 15 años. Las condiciones sanitarias de los animales fueron las que se contemplan en las normas para la producción ecológica. Los animales contaron

con agua de pozo, y en periodos de carestía de pasto, tuvieron a disposición pienso con certificación ecológica. Las características del pienso aportado a los animales se detallan en la tabla 9.

La Finca Valdesequera, propiedad de la Junta de Extremadura, se encuentra situada en el Km 65 de la Ctra. Badajoz-Cáceres (Nacional Ex 100), al suroeste de la Península Ibérica (39° 3'39.25"Norte; 6°50'45.24"Oeste). El área seleccionada es una finca experimental destinada a la realización de proyectos de investigación animal y con características forestales de *dehesa*. En este sistema, la producción media de pasto/ha estimada es de 200/500 kg de materia seca (Escribano y Pulido, 1998). El suelo es un vertisol de textura arenosa, con un pH de 5,6-6,7 y el clima es mediterráneo semiárido.

4.1.2. Ecológico de cebo (EC).

De ganaderos de la Asociación nacional de criadores de ganado vacuno selecto de raza Retinta se seleccionaron 30 terneros (15 terneros por año) que permanecieron con sus madres hasta el destete con aproximadamente 6 meses de edad. Una vez destetados, los animales se trasladaron a las instalaciones de cebo para la producción ecológica de la Cooperativa Divino Salvador (Vejer de la Frontera, Cádiz) (figura 14).



Figura 14. Terneros de raza Retinta del lote Ecológico de Cebo. Autor: Alberto Horcada.

Desde este momento, los animales recibieron durante tres meses alimento concentrado de crecimiento con certificación ecológica, heno de pradera y trigo *ad libitum*. Posteriormente, de acuerdo a la normativa para la producción ecológica en materia de alimentación de rumiantes, transcurridos estos tres meses de adaptación a las instalaciones para el cebo, los terneros dispusieron de una ración de alimento basada en

un 60% en el aporte de heno de pradera, gramíneas y leguminosas y un 40% de suplemento concentrado de certificación ecológica (Bioter Cebo, Certificado CAEX 149/EC, Mérida), hasta su sacrificio. El espacio para el recreo de los animales fue limitado a 13,3 m²/animal. El alimento fue distribuido en tolvas comerciales de acceso libre y separado de los puntos de distribución de agua. Las condiciones sanitarias de los animales fueron contempladas de acuerdo a las normas para la producción ecológica (Reglamento CE 834/2007). Las características del pienso aportado a los animales se detallan en la tabla 9.

4.1.3. Cebo convencional (CC).

En explotaciones ganaderas adscritas a la Asociación nacional de criadores de ganado vacuno selecto de raza Retinta se seleccionaron 30 terneros (15 terneros por año) que permanecieron con sus madres hasta aproximadamente los 7 meses de edad. Una vez destetados, los 15 animales fueron trasladados a las instalaciones de cebo del Centro Experimental Agrícola Ganadero de Jerez de la Frontera de la Excm. Diputación Provincial de Cádiz (figura 15) y otros 15 terneros se engordaron en la finca Valdesequera en sistema de producción convencional como se describe a continuación.



Figura 15. Terneros de raza Retinta del lote Cebo convencional. Autor: José M^a Jiménez.

Los animales recibieron durante tres meses alimento concentrado de crecimiento y seguidamente fueron cebados con alimento concentrado convencional (B-01 RETINTO, Aviscón, Toledo) y forraje (heno de gramíneas y paja) *ad libitum* hasta su sacrificio. Los terneros permanecieron durante todo el cebo estabulados en corrales con una superficie de parque de 6,6 m²/animal y disponibilidad de agua. Las características del pienso aportado a los animales se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Distribución de ingredientes (%) y composición nutricional de las dietas suministradas en los diferentes lotes.

	Ecológico de pasto	Ecológico de cebo	Cebo convencional
Ingredientes			
Concentrado	20 ^a	40 ^a	80 ^b
Paja de cebada	-	25	20
Ensilado de pasto	-	35	-
Pastos frescos	80	-	-
Composición (Expresados en porcentaje de materia seca)			
Proteína bruta	12,2	10,5	13,1
Grasa bruta	2,4	5,4	6,0
Cenizas	6,9	5,9	6,2
Fibra neutro detergente	62,5	32,3	23,5
Energía metabolizable (MJ/kg)	8,2	11,9	12,9

^a Ingredientes ecológicos en el periodo final de cebo (%): cebada, 36,2; avena, 24,5; chícharos, 16,6; semilla de girasol, 19,6; minerales y vitaminas, 3,1.

^b Ingredientes convencionales en el periodo final de cebo (%): maíz, 34,0; cebada, 33,5; gluten de maíz, 17,1; harina de soja 44, 8; minerales y vitaminas, 3,9; aceite de palma, 3,1.

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron 15 animales por año. Un resumen del diseño experimental se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Distribución del número de animales en los lotes de estudio.

	Ecológico de pasto	Ecológico de cebo	Cebo convencional
Año 1	15	15	15
Año 2	15	15	15
TOTAL	30	30	30

4.2. Controles productivos.

En cada uno de los lotes productivos se tomó registro de la edad de destete o entrada en el cebo (días), peso de destete o entrada en cebo (kg), edad de sacrificio (días) y peso de sacrificio (kg).

A partir de estos datos se calculó los días totales de cebo, la ganancia de peso total en el periodo de engorde y la ganancia media de peso durante este periodo. De acuerdo a estos valores se calcularon los días de duración de engorde, ganancia de peso durante este periodo y ganancia media de peso de los terneros. En el caso de los animales de los lotes EC y CC se calculó el índice de conversión del alimento concentrado mediante la fórmula:

$$IC = \text{kg de pienso consumido}/(\text{PS}-\text{PI})$$

Donde: IC= índice de conversión.

PS= peso de sacrificio (kg).

PI= peso inicial en el cebo (kg).

Los descriptores productivos de los animales de los lotes de los sistemas Ecológico de pasto, Ecológico de cebo y Cebo Convencional de detallan en la tabla 11.

Tabla 11. Descriptores productivos (media y error estándar) de los terneros de raza Retinta del estudio.

	Ecológico de pasto		Ecológico de cebo		Cebo convencional	
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
Edad entrada (días)	205,4±6,8	181,5±3,8	194,2±11,0	208,7±13,0	211,2±12,3	176,2±21,1
Peso entrada (kg)	315,4±15,1	259,3±4,6	226,9±12,3	232,0±7,3	235,4±11,1	242,5±31,1
Edad sacrificio (días)	402,0±5,6	275,0±4,2	392,1±9,6	375,7±13,0	456,3±9,7	457±25,9
Peso sacrificio (kg)	543,6±10,7	475,9±4,3	504,3±12,9	460,1±11,7	608,0±17,1	534±17,3
Duración cebo (días)	196,6±3,7	193,5±4,5	197,9±4,3	167,0±0,0	246,0±9,0	281±13,5
Ganancia en cebo (kg)	228,3±17,8	216,7±10,2	277,3±8,2	228,1±8,5	372,6±8,8	291±22,2
GMD	1,2±0,1	1,1±0,1	1,4±0,0	1,4±0,1	1,5±0,1	1,1±0,1
IC	-	-	6,1±0,2	5,6±0,2	5,3±0,2	6,78±0,5

GMD: ganancia de peso media diaria; IC: índice de conversión.

4.3. Sacrificio de los animales.

Una vez los terneros alcanzaron el peso comercial medio del mercado español, se transportaron a mataderos homologados para el sacrificio de animales de producción ecológica. Los terneros del lote EP y CC (correspondientes al año 2) fueron sacrificados en el matadero Industrial Don Benito S.L. (Don Benito, Badajoz) a 130 km de las instalaciones de Valdesequera y los terneros de los lotes EC y CC (correspondientes al año 1) al matadero Bahía S.L. (Puerto Real, Cádiz), a 52 y 62 km de las instalaciones de

origen, respectivamente. Los terneros fueron transportados de acuerdo a la normativa en materia de bienestar animal para el transporte de animales (Reglamento CE 1/2005).

El sacrificio de los animales se realizó transcurridas aproximadamente 2 horas desde la llegada al matadero de acuerdo a las normas de higiene recogidas en el Reglamento CE 853/2004. Después del sacrificio de los terneros, las canales fueron colgadas por el tercio posterior y clasificadas de acuerdo a su conformación mediante el sistema de clasificación SEUROP y atendiendo a su grado de engrasamiento (Reglamento CE 1183/2006). La escala de clasificación SEUROP se amplió hasta 18 puntos, donde P- se corresponde con el valor 1 y S+ con el valor 18. La escala de clasificación de estado de engrasamiento se amplió dentro de cada categoría con las indicaciones “+” o “-” hasta 15 puntos. Por último, las canales se pesaron (PCC) y fueron almacenadas en cámaras de refrigeración a $2-4\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

El rendimiento de la canal se calculó de la manera siguiente:

$$\text{RC (\%)} = (\text{PCC} \cdot 0,98) / \text{PS} \cdot 100$$

Donde: RC= rendimiento de la canal.

PCC= peso de la canal caliente (kg).

PS= peso de sacrificio (kg).

En la tabla 12 se presentan las principales características de las canales de los terneros de la raza Retinta del presente estudio.

Tabla 12. Descriptores (media y error estándar) de las características de la canal de los terneros de raza Retinta del estudio.

	Ecológico de pasto		Ecológico de cebo		Cebo convencional	
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
Peso canal caliente (kg)	289,8±7,5	254,9±4,8	285,8±8,4	251,8±7,9	365,1±8,6	315,3±13,3
Rendimiento canal (%)	53,4±1,0	53,8±1,2	56,6±0,5	54,6±0,5	60,2±0,9	58,7±3,8
Conformación ^a	9,9±0,5	8,8±0,4	8,3±0,2	7,7±0,2	7,9±0,1	8,0±0,2
Engrasamiento ^b	6,7±0,5	7,8±0,4	5,2±0,3	5,7±0,4	5,3±0,5	5,2±0,3

^aEscala de conformación P(-)≈1 a S(+)≈18; ^bEstado de engrasamiento: 1(-)≈1 a 5(+)=15.

4.4. Métodos analíticos.

4.4.1. Preparación de las muestras.

Transcurridas 24 horas desde el sacrificio de los animales, en las instalaciones del matadero se extrajo la porción lumbar del músculo *Longissimus dorsi* (LD) correspondiente a la media canal izquierda (entre la 5ª y 10ª costilla). Posteriormente, la pieza se trasladó en refrigeración ($4\pm 1^\circ\text{C}$) al laboratorio de Calidad de Carne del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX-La Orden) de la Junta de Extremadura.

Una vez en el laboratorio cada pieza se dividió en diferentes porciones con el fin de obtener 4 porciones de pesos similares destinadas a ser maduradas durante los cuatro tiempos fijados en el estudio: 0, 7, 14 y 21 días. Un detalle del reparto de muestras para los análisis de laboratorio se muestra en la figura 16.

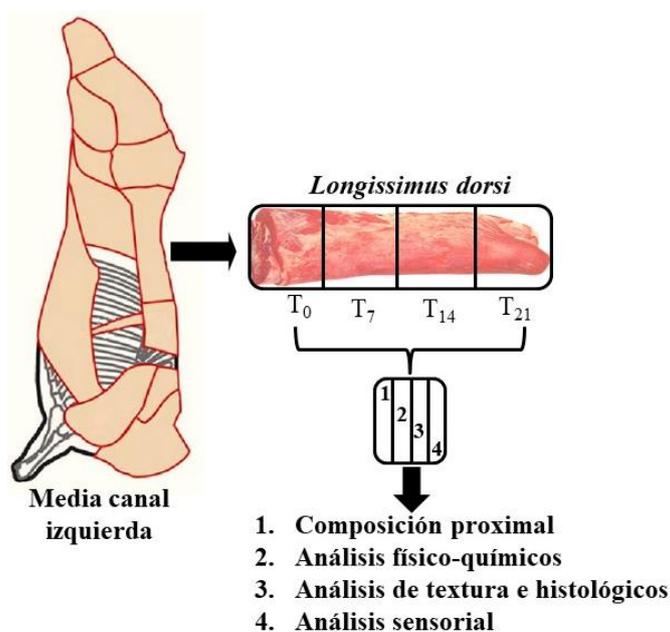


Figura 16. Diagrama de los cortes realizados en el músculo *Longissimus dorsi* destinados a los cuatro tiempos de maduración (T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁) y futuros análisis de la carne de terneros de raza Retinta.

Las diferentes porciones se asignan de ahora en adelante como T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁ para los 0, 7, 14 y 21 días de maduración respectivamente. Durante el proceso de maduración de la carne, las porciones T₇, T₁₄ y T₂₁ se colocaron sobre barquetas de poliestireno expandido cubiertas con una película de polietileno de baja intensidad permeable al oxígeno y se conservaron en cámara de refrigeración a 4°C (Infrico AN 1002). La porción T₀ se dividió en 4 filetes de aproximadamente 2,5 cm de espesor. Cada uno de estos filetes se envasó al vacío en bolsas de polietileno (permeables al O₂, 9,3 ml

O₂/m²/24h a 0°C) y se congelaron a -20°C. Este proceso se repitió en los siguientes días de maduración a medida que se cumplían los tiempos (7, 14 y 21 días). Las muestras destinadas al estudio histológico se congelaron inmediatamente a T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁, en nitrógeno líquido y se mantuvieron en congelación a -80°C hasta posteriores análisis.

4.4.2. Determinaciones analíticas.

Las determinaciones analíticas de pH, composición proximal, color, capacidad de retención de agua, textura, histología y estado oxidativo de la carne se llevaron a cabo en el laboratorio de Calidad de Carne del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX-La Orden), de la Junta de Extremadura. El análisis sensorial se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura (INTAEX).

Se realizaron las siguientes determinaciones analíticas de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

- Composición química:
 - Humedad, mediante método oficial AOAC (2003).
 - Proteína total, mediante método oficial AOAC (2003).
 - Cenizas, siguiendo las recomendaciones de la ISO R-936 (1973).
 - Grasa intramuscular, mediante técnica propuesta por Folch *et al.* (1957).
- Contenido de mioglobina, mediante el método de Hornsey (1956).
- Color instrumental (L*, a*, b*), mediante un colorímetro Minolta CR-300 (Minolta Camera, Osaka, Japón) y siguiendo las recomendaciones de la American Meat Science Association (Hunt *et al.*, 1991) (CIE-Lab).
- Determinación del α -tocoferol, mediante la técnica descrita por Liu *et al.* (1996) y modificada por Cayuela *et al.* (2003).
- Determinación del pH, mediante pH-metro (Crison Instruments, modelo 554TC, con sonda de temperatura y electrodo de penetración).
- Capacidad de retención de agua, mediante el cálculo de los siguientes parámetros:
 - Pérdidas por goteo (*drip-loss*), según el método descrito por Honikel (1997).
 - Pérdidas por cocinado (*cooking-loss*), mediante el método propuesto por Combes *et al.* (2003).

- Textura instrumental, mediante un Texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK), se realizaron las siguientes determinaciones:
 - Análisis Warner-Bratzler (WB) de la fuerza de corte, previo cocinado de la muestra según Combes *et al.* (2003).
 - Análisis de perfil de textura con un porcentaje compresión al 20% (TPA20), de acuerdo a las recomendaciones propuestas por Bourne (1978).
- Análisis histológico de las fibras musculares, utilizando un microscopio Nikon (modelo Eclipse 50i) y el software de análisis de imagen Nis-Elements 3.10. Se evaluaron:
 - La longitud de los sarcómeros, siguiendo las recomendaciones propuestas por Torrescano *et al.* (2003).
 - El área de las fibras musculares, previamente transferidas a un micrótomos criostático y bañadas con Tissue-Tek (Zoeterwoude, Países Bajos).
- Análisis sensorial, mediante los dos tipos de pruebas siguientes:
 - Panel de catadores entrenados, según protocolo de la AENOR (1996).
 - Estudio de consumidores, mediante un Test de aceptabilidad.

El esquema de la distribución de los análisis realizados en las muestras de carne de los terneros de la raza Retinta del presente estudio se muestra en la figura 17.

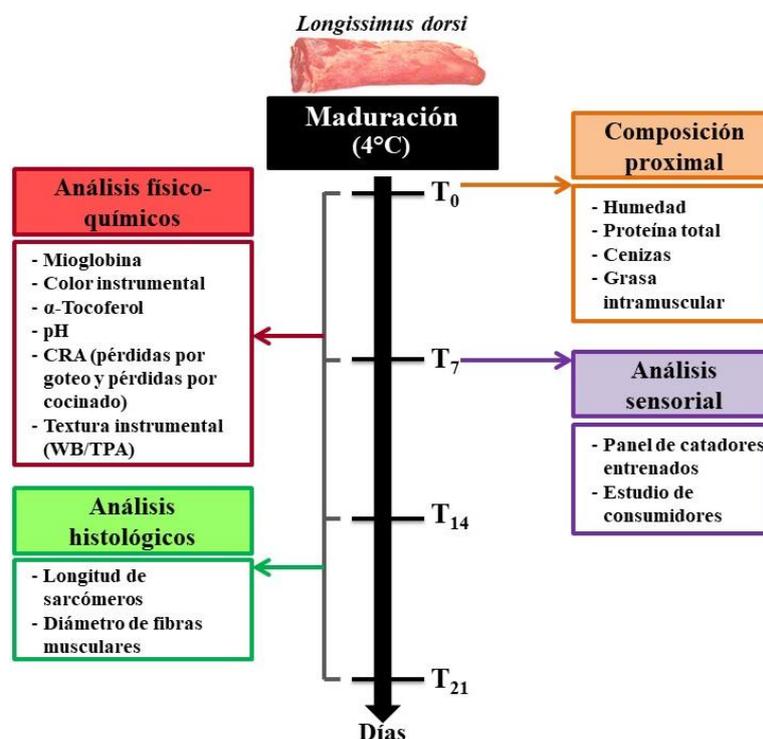


Figura 17. Distribución de las determinaciones analíticas realizadas en cada uno de los días de maduración de la carne (T_0 , T_7 , T_{14} y T_{21}) de terneros de raza Retinta.

4.5. Análisis estadístico.

Se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía para determinar los efectos del sistema de producción (capítulos 5 y 8) y de dos vías para determinar los efectos del sistema de producción y del tiempo de maduración (capítulos 6 y 7) sobre los parámetros estudiados en las muestras de músculo *Longissimus dorsi* de los terneros de raza Retinta incluidos en el presente trabajo. Seguidamente se realizó un test *post-hoc* de Tukey para la comparación de medias de cada tratamiento con un nivel de significación establecido de $p \leq 0,05$. El estudio incluyó la variable covariada “peso de sacrificio” con el fin de ajustar los valores obtenidos y reducir el error. Previamente, se estudió el efecto “año” que resultó no ser estadísticamente significativo ($p > 0,05$) para todas las variables estudiadas y se decidió eliminar del estudio. En los resultados se detallan los valores medios y errores estándar de las medias (EEM). El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico SPSS v.19.

Capítulo 5.

La composición proximal de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica

5. La composición proximal de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.

5.1. Resumen.

En este capítulo se ha estudiado el efecto de dos modelos de producción ecológica de terneros de raza Retinta basados en la alimentación con pasto en área de *dehesa* (EP) y alimentación con alimento concentrado ecológico (EC) en cebadero adaptado a la normativa ecológica, frente al modelo de producción convencional basado en el aporte de alimento concentrado y forraje (CC) sobre la composición proximal de la carne. Las determinaciones analíticas realizadas fueron el contenido de humedad, proteína total, cenizas y grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi*.

Los resultados presentados en este capítulo indican que existe evidencia de la influencia del modelo de producción sobre los parámetros estudiados. Mientras que la carne producida en los modelos ecológicos estudiados (EP y EC) se caracteriza por mostrar el mayor contenido en minerales, el modelo EP de producción ecológica presentó los valores más elevados de humedad (75,05%) y proteína total (22,97%) y el menor contenido de grasa intramuscular (1,04%) frente a la carne de los animales criados en los modelos EC y CC basados en el aporte de alimento concentrado. Estos resultados indican que el efecto conjunto del aporte de pasto ecológico con una mayor disponibilidad de espacio para el ejercicio de los animales incide en la composición de la carne de terneros de raza Retinta de producción ecológica, observándose en esta carne mayor cantidad de agua, proteínas y cenizas y menor contenido graso que la que presenta el sistema convencional basado en el aporte de alimento concentrado y limitación de espacio para el ejercicio.

5.2. Introducción.

La producción de carne de bovino en España se basa principalmente en sistemas semi-extensivos o intensivos con las razas autóctonas puras y/o con cruces con razas foráneas (MAPAMA, 2018). La Retinta es una raza de aptitud cárnica que constituye la principal raza bovina autóctona del suroeste de España y que muestra un elevado carácter maternal y alta rusticidad. Ello le permite aprovechar un medio difícil, con grandes épocas de sequía y periodos de carestía. Varios investigadores han realizado estudios exhaustivos sobre rasgos productivos y de calidad de carne de razas españolas locales de ganado bovino, que incluían la raza Retinta (Albertí *et al.*, 2005; Insausti *et al.*, 2005). La mayoría

de estos estudios tuvieron como objetivo conocer las características de la carne, cuando los animales son criados en modelos de producción con más o menos grado de intensificación que incluyen alimento forrajero y concentrado presentados en pesebre. Sin embargo, en España apenas se describen ensayos para conocer la composición de la carne de terneros de esta raza criados en sistemas de producción alternativos como es la producción ecológica.

Actualmente, la principal motivación de los consumidores de carne fresca es conocer las características sensoriales, el valor nutricional y su impacto en la salud (Wood *et al.*, 2003). Sin embargo, en España, tanto productores como consumidores a menudo carecen de la información objetiva necesaria para promover y hacer un buen uso de la calidad nutricional y sensorial de la carne (MAPAMA, 2018). Esta observación tiene especial relevancia en el conocimiento de las características de la carne de producción ecológica. Disponer de información acerca de la composición de la carne ecológica permitirá conocer su respuesta nutritiva y sensorial y aportar información para la diferenciación de este producto.

Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne deriva de su contenido en proteínas de alta calidad que contienen determinados aminoácidos esenciales, así como de sus vitaminas y sus minerales de elevada biodisponibilidad (FAO, 2007). En la composición nutricional de la carne de ternera destaca su elevado contenido en proteínas (20 g por cada 100 g de alimento; Moreiras *et al.*, 2010). En cuanto al contenido graso, este valor puede ser muy variable. Sin embargo, existen referencias de que las partes más magras de la carne de ternera puede presentar desde un 1% hasta 6 g de grasa por cada 100 g en razas mediterráneas, destacando su alto contenido en ácidos grasos saturados (Moreiras *et al.*, 2010).

De otra parte, la carne se considera como fuente de elementos minerales de alta biodisponibilidad como son el hierro, zinc, y fósforo (Moreiras *et al.*, 2010). También la carne de ternera es rica en vitaminas del grupo B, destacando un elevado contenido en vitamina B₁₂ (Moreiras *et al.*, 2010).

En este capítulo se pretende describir la composición proximal (contenido en agua, proteína, cenizas y grasa) de la carne fresca procedente de los terneros de raza Retinta criados en dos sistemas de producción ecológica, uno basado fundamentalmente

en el pastoreo y otro basado en el aporte de alimento concentrado y forraje ecológicos en cebadero, frente al modelo convencional basado en el aporte de alimento concentrado convencional y forraje en cebadero.

5.3. Material y métodos.

La descripción de los animales utilizados para el estudio y la recogida de muestras ha sido presentada en el capítulo general de material, métodos y diseño experimental (capítulo 4). Para el análisis de la composición proximal de la carne de los terneros de raza Retinta de este estudio se han utilizado 90 muestras del músculo *Longissimus dorsi* distribuidas de la siguiente manera:

- 30 muestras del modelo de producción ecológica en pastoreo (EP).
- 30 muestras del modelo de producción ecológica en cebadero (EC).
- 30 muestras del modelo de producción convencional en cebadero (CC).

El diseño experimental para el análisis de la composición proximal de la carne fresca de los terneros de raza Retinta se presenta en la figura 18.

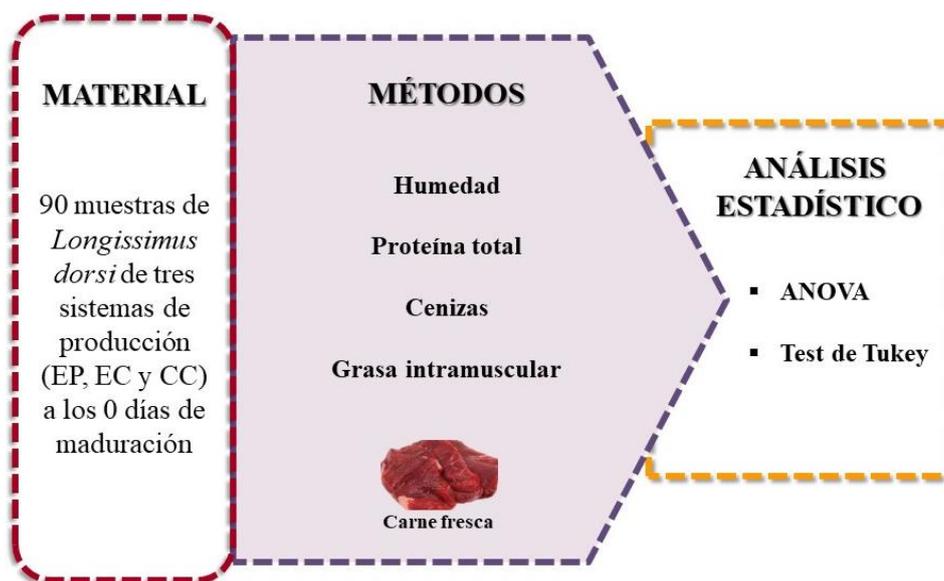


Figura 18. Esquema del material y métodos para la evaluación de parámetros de composición proximal de la carne fresca de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de pienso (EC) y cebo convencional (CC).

El análisis proximal (humedad, cenizas, proteína total y grasa) de la carne fresca se realizó en una porción del *Longissimus dorsi* sin madurar de acuerdo a la distribución de muestra que se ha detallado en el apartado 4.4.1 de este documento.

Tras la recepción de las muestras en el laboratorio de Calidad de Carne del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX-La Orden) a las 24 horas del sacrificio de los terneros cada pieza del músculo LD fue dividida en porciones destinadas a los diferentes análisis.

5.3.1. Preparación de las muestras.

El análisis de la composición proximal de la carne fresca se realizó en una porción del músculo *Longissimus dorsi* sin madurar (T_0).

5.3.2. Composición química.

5.3.2.1. Humedad.

El contenido de agua de la carne se determinó por duplicado para cada animal mediante el método de referencia (AOAC, 2003). Para ello la carne se picó y se pesaron aproximadamente 5 g de carne. A continuación, se pesó una cápsula de desecación con aproximadamente 15 g de arena de mar lavada. Seguidamente, se incorporaron a la cápsula de desecación los 5 g de carne y se añadieron 5 ml de etanol al 95%. Después de remover, la mezcla se introdujo en una estufa de desecación regulada a 105°C durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo la cápsula de desecación se pesó nuevamente. El cálculo de la humedad se realizó respecto al contenido inicial de carne atendiendo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = (P_I - P_F) \cdot 100 / (P_I - P_0)$$

Donde: P_I = peso de cápsula + arena + varilla + muestra (en gramos).

P_F = peso de cápsula + arena + varilla + muestra tras secado (en gramos).

P_0 = peso de la cápsula + arena + varilla (en gramos).

5.3.2.2. Proteína total.

El contenido en proteínas de la carne se determinó por duplicado en cada animal siguiendo el método Kjeldhal (AOAC, 2003). Este proceso se llevó a cabo en tres pasos: digestión, destilación y valoración.

En un matraz de digestión, se depositaron 1g de la muestra, 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y 15 g de catalizador Kjeldhal (Scharlau Chemie, Barcelona, España). El matraz de digestión se calentó a 370-400°C durante 60 minutos

en el digestor. El matraz se dejó enfriar a temperatura ambiente y se añadieron 100 ml de agua destilada.

La destilación se llevó a cabo por la adición de 100 ml de NaOH al 30% y la suplementación de vapor en un destilador Buchi B-324. El amonio generado se atrapó en 100 ml de una solución de ácido bórico al 2% con unas gotas de indicador (rojo de metilo y azul de metileno).

Se usó una solución estándar de HCl 0,1N para la valoración del nitrógeno total en un valorador automático Mettler Toledo DL50 conectado a un carrusel Mettler Toledo Rondolino. El porcentaje de proteína total fue calculado a partir del contenido de nitrógeno de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Proteína total} = [0,14 \cdot 6,25 (V_1 - V_2)] / P$$

Donde: V_1 = volumen de HCl, usado en el paso de la valoración.

V_2 = volumen de HCl, usado en el ensayo en blanco.

P = peso de la muestra (en gramos).

5.3.2.3. Cenizas.

La determinación del contenido de cenizas se realizó por duplicado siguiendo la norma ISO R-936 (1973). Para ello, se pesaron 5 g de carne libre de grasa en cápsulas de porcelana. Se añadió 1 ml de acetato de magnesio con una concentración de 25% en agua destilada para evitar la salida de humos durante su combustión. La muestra se desecó en una estufa a 100°C durante 24 horas.

Posteriormente, las cápsulas se introdujeron en el horno mufla regulado a 550°C durante 24 horas. A continuación, las cápsulas se dejaron enfriar en un desecador con gel de sílice deshidratado. El porcentaje de cenizas se calculó por diferencia de peso de las cápsulas. El contenido relativo de cenizas se calculó de la manera siguiente:

$$\% \text{ de cenizas} = (P_2 - P_0 - P_3) \cdot (100 / P_1 - P_0)$$

Donde: P_0 = peso de la cápsula (en gramos).

P_1 = peso de la cápsula conteniendo la muestra (en gramos).

P_2 = peso de la cápsula y el residuo tras incineración (en gramos).

P₃= peso del óxido de magnesio proveniente de la disolución de acetato de magnesio añadido (en gramos).

5.3.2.4. Grasa intramuscular.

El contenido de grasa intramuscular en la carne se determinó a través de la técnica propuesta por Folch *et al.* (1957). Se pesaron por duplicado 5 g de carne libre de grasa en superficie. Posteriormente se homogenizaron con 15 ml de cloroformo: metanol (1:2) y la mezcla se centrifugó durante 5 minutos a 3000 rpm. El sobrenadante se transfirió a otro tubo y el pellet sobrante se homogeneizó con 10 ml de cloroformo. Se volvió a centrifugar durante 5 minutos a 3000 rpm. El sobrenadante se unió al obtenido en la centrifugación anterior junto con 5 ml de agua destilada. El compuesto acuoso obtenido se centrifugó nuevamente durante 5 minutos a 3000 rpm. La fase acuosa superior se eliminó con una pipeta Pasteur, mientras que la solución orgánica inferior se filtró a través de sodio sulfato anhidro en un matraz Erlenmeyer. El disolvente se eliminó mediante rotación en un evaporador acoplado a un sistema de vacío. La cantidad de grasa se calculó de acuerdo a:

$$\% \text{ de grasa} = [(P_1 - P_0) / P_2] \cdot 100$$

Donde: P₀= peso del matraz (en gramos).

P₁= peso del matraz con la grasa extraída (en gramos).

P₂= peso de la muestra (en gramos).

5.3.3. Análisis estadístico.

Para analizar el efecto de los diferentes sistemas de producción estudiados en la calidad nutritiva de la carne (contenido relativo de humedad, cenizas, proteína y grasa) se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) con el paquete estadístico SPSS v.19. Seguidamente, se aplicó el test *post-hoc* de Tukey en aquellas variables en las que el análisis de la varianza fue significativo (con un nivel de significación de $p \leq 0,05$).

5.4. Resultados y discusión.

Los resultados sobre la composición proximal de la carne fresca procedente de terneros de raza Retinta del presente estudio se muestran en la tabla 13. En todas las variables estudiadas se ha observado un efecto significativo de los diferentes sistemas de producción propuestos (EP, EC y CC).

Los resultados de este estudio son del orden a los encontrados por Domaradzki *et al.* (2017) en otras varias razas bovinas españolas (Limousin y Rubia Gallega, entre otras) y por Albertí *et al.* (2014) en animales de raza Pirenaica que fueron terminados con diferentes tipos de alimentación. El contenido en humedad de la carne de los terneros de raza Retinta (tabla 13) se vio afectado por el sistema de producción ($p \leq 0,05$). En la tabla 13 se observa que la carne del modelo de producción ecológico basado en la alimentación con pasto (EP) presentó significativamente mayor contenido relativo de agua que la procedente de los modelos de producción basados en el uso de alimentos concentrados, tanto ecológico como convencional (EC y CC, respectivamente).

Tabla 13. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la composición proximal de la carne de terneros de raza Retinta.

	EP	EC	CC	EEM	Significación
Humedad (%) ¹	75,05 ^a	74,37 ^b	74,07 ^b	0,024	*
Proteína total (%) ¹	22,97 ^a	21,66 ^b	21,41 ^b	0,125	***
Cenizas (%) ¹	1,44 ^a	1,26 ^b	1,03 ^c	0,030	*
Grasa (%) ¹	1,04 ^b	1,58 ^a	1,86 ^a	0,074	***

¹ Expresado como porcentaje respecto al peso fresco de la carne.

*: $p \leq 0,05$, ***: $p \leq 0,001$; ^{a, b, c}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media.

La mayoría de los autores apuntan a la idea de que la carne de animales criados en extensividad, como es el caso de los animales ecológicos alimentados a pasto, presenta un contenido relativo de agua más elevado que los animales producidos sin posibilidad de pastoreo (French *et al.*, 2001). En nuestro estudio se observa que existe una relación entre el contenido de agua y el contenido de proteína muscular, ya que, según detalla Hamm (1963), el agua está fuertemente unida a las cargas eléctricas de los aminoácidos de las proteínas musculares (el 70% del agua se encuentra unida a las proteínas miofibrilares, en un 20% a las sarcoplásmicas y un 10% al tejido conectivo).

El porcentaje de proteína total de la carne de los terneros de raza Retinta mostró diferencias significativas ($p \leq 0,001$) en los sistemas de producción estudiados (tabla 13) siendo estos valores los esperados para la carne de ternera (Domaradzki *et al.*, 2017). Estos datos están en concordancia con los encontrados por otros autores en diferentes razas bovinas españolas (Serra *et al.*, 2008; Albertí *et al.*, 2014). En nuestro estudio, la carne de los terneros ecológicos a pasto (EP) mostró un porcentaje significativamente mayor de proteína total que la carne de los otros modelos basados en el aporte de alimento concentrado (EC y CC). El hecho de que los animales criados en extensivo presenten

carne con mayor contenido en proteína, y a la vez más cantidad de agua, puede ser debido al efecto de que el músculo LD ha estado más ejercitado gracias a la libertad de movimiento que han tenido los animales producidos en el sistema ecológico con pasto y no tanto a la naturaleza de la alimentación recibida.

El contenido de cenizas de la carne de los terneros de raza Retinta del presente estudio (tabla 13) se encuentra dentro del rango de valores presentado por González *et al.* (2011b) en carne de terneros de raza Frieiresa, por ejemplo. La carne de diferentes especies animales contiene aproximadamente un 1% de cenizas y fundamentalmente éstas están constituidas por elementos minerales como hierro, potasio, fósforo, óxidos, sulfatos, silicatos y cloruros, entre otros (MacRae *et al.*, 2005). Diversos autores señalan que el sistema de producción no tiene efecto sobre el contenido de cenizas de la carne (French *et al.*, 2000; French *et al.*, 2001). Sin embargo, en el presente estudio se ha observado un efecto significativo respecto a este parámetro ($p \leq 0,05$), y se ha observado que los animales que han realizado mayor ejercicio para la captura del alimento durante el pastoreo (EP) han presentado mayor contenido de minerales en la carne (cenizas), mientras que la carne de los animales que han dispuesto de menor superficie para el movimiento (EC y CC) ha presentado menor contenido de elementos minerales. Esta observación podría estar relacionada con la idea propuesta por Olsson y Pickova (2005) de que los animales que han tenido mayor posibilidad de ejercicio aeróbico presentan una mayor capacidad muscular para la fijación de minerales que los animales que apenas realizan ejercicio durante su crecimiento, como ha sido el caso de los animales de los sistemas de producción ecológico en pastoreo. Aunque hay datos muy limitados sobre la composición mineral de la carne de terneros de raza Retinta producida bajo sistemas de producción ecológicos, nuestros resultados sugieren que la concentración de oligoelementos (contenido en cenizas) de la carne podría usarse como un indicador de calidad de la carne ecológica que le transfiere un valor nutricional adicional frente a la carne de producción convencional.

El contenido de grasa de la carne fresca de los terneros de raza Retina se muestra en la tabla 13. Los valores de contenido relativo de grasa obtenidos en la carne de los terneros del presente estudio han sido inferiores a los descritos por Serra *et al.* (2008) en terneros de raza Bruna del Pirineus, Avileña-Negra Ibérica y Morucha, pero similares a los resultados obtenidos en otros estudios (Horcada *et al.*, 2016) donde se presentan

valores de contenido de grasa en terneros de raza Retinta de aproximadamente 1,50-1,80%. En la tabla 13 se observa que existe un efecto significativo del sistema de producción de los tres tratamientos propuestos ($p \leq 0,001$) sobre el contenido de grasa de la carne. En esta tabla se muestra que el menor contenido de grasa intramuscular en la carne se presenta en el modelo de producción ecológico ligado al pastoreo (EP). Del mismo modo que detallan Young *et al.* (2001), el contenido de grasa de la carne de los terneros del presente estudio está inversamente relacionada con el contenido de agua. Asimismo, nuestros resultados coinciden con otros estudios (Díaz *et al.*, 2002 y Santos-Silva *et al.*, 2002) que muestran que la carne procedente de animales criados en extensividad resulta ser menos grasa en comparación con la procedente de animales criados en sistemas intensivos. Nuestros resultados corroboran la idea propuesta por Priolo *et al.* (2002) y Alfaia *et al.* (2009) que indican que la densidad energética de la dieta suministrada a los animales y el grado de actividad física afectan al contenido de grasa en la carne. Esta observación puede ser extensible a la producción de carne ecológica donde los animales disponen de mayor posibilidad de actividad física que los animales criados en modelo convencional por los requerimientos de la norma de producción ecológica. Por ello, puede considerarse que el sistema de producción asociado al incremento del consumo de alimento concentrado, independientemente de la naturaleza ecológica o no del mismo, afecta al contenido de grasa en la carne, y que el sistema de producción ecológica, especialmente basado en el pastoreo que garantiza a los animales la posibilidad de realizar ejercicio, contribuye a reducir el contenido de grasa de la carne.

5.5. Conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos del análisis proximal de la carne de los terneros de raza Retinta obtenida en los dos sistemas de producción ecológica y el sistema de producción convencional se puede concluir que existe una evidente influencia del sistema de producción de los terneros de raza Retinta (ecológico y convencional) en la composición proximal de la carne.

La carne procedente de terneros de raza Retinta ecológica criados en pastoreo presenta mayor contenido de proteína y agua y menor contenido de grasa que la carne de terneros de la misma raza criados fundamentalmente con el aporte de alimento concentrado. Esta observación es independiente de la procedencia ecológica o no del

alimento concentrado suministrado a los animales y está más influenciado por la posibilidad de realizar ejercicio durante el pastoreo.

En esta línea, existe evidencia de un descenso del contenido de agua y proteína total y un incremento de grasa en la carne producida bajo sistemas en los que se emplea alimento concentrado (independientemente de si es ecológico o convencional) frente al sistema de producción basado en el pastoreo.

El contenido en minerales de la carne de los terneros producidos de forma ecológica es mayor que en la carne obtenida de forma convencional, independientemente del espacio disponible donde los animales se crían.

En definitiva, los resultados de este trabajo pueden contribuir a la valorización objetiva de la carne de ternera de producción ecológica desde el punto de vista de su valor nutritivo. Puede considerarse, como ocurre en otros productos de producción ecológica, que el valor nutritivo de la carne ecológica es al menos similar a la producción convencional a la que se le añade el valor emocional y ético de su consumo.

Capítulo 6.

El color de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica

6. El color de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.

6.1. Resumen.

En el presente capítulo se ha estudiado la influencia de dos modelos de producción ecológica de terneros de raza Retinta basados en la alimentación con pasto en área de *dehesa* (EP) y alimentación con alimento concentrado ecológico (EC) en cebadero, frente a un sistema de producción convencional basado en el aporte de alimento concentrado y forraje en pesebre (CC) sobre el contenido de mioglobina y el color instrumental de la carne. También se ha evaluado el efecto de cada uno de los sistemas de producción propuestos (ecológicos y convencional) sobre la evolución del color durante 21 días de maduración.

El contenido de mioglobina fue significativamente mayor en la carne procedente de los terneros del modelo EP (4,74 mg mioglobina/g carne) que la observada en los animales de los grupos EC y CC. Sobre el color instrumental, se observó un efecto significativo del sistema de producción sobre todos los parámetros estudiados, siendo la carne del modelo EP la que presentó menor valor de luminosidad (30,44) y mayores valores de índice de rojo (12,22), índice de amarillo (5,27) y tono (18,16) con respecto a la carne procedente de los modelos basados en el aporte de alimento concentrado (EC y CC). Los modelos ecológicos EP y EC presentaron valores más elevados de saturación que el sistema de producción convencional (CC). De otra parte, los cambios de color a lo largo de la maduración de la carne durante 21 días han sido significativos para las variables b^* y H^0 . Con respecto a la evolución de cada variable durante el tiempo de maduración en cada sistema de producción estudiados, los modelos de producción ecológico (EP y EC) mostraron patrones de evolución similares y mayor estabilidad en la evolución de los parámetros de color durante los 21 días de maduración estudiados en comparación con la carne obtenida del sistema de producción convencional.

6.2. Introducción.

El color, junto con la ternura y el sabor, es una de las características que determinan la calidad de la carne de ternera y que define la calidad sensorial de la misma. De entre ellas, el color es a menudo la característica más importante en el proceso de selección del consumidor en el punto de venta (Suman y Joseph, 2014), ya que es la primera característica de calidad que perciben. Es por ello que el color va a tener una

influencia crítica en las decisiones de compra de la carne y, por lo tanto, es de importancia fundamental para la industria cárnica (Cornforth, 1994).

El color de la carne está determinado por la concentración y el estado oxidativo de los pigmentos presentes en el músculo. La mioglobina es el principal pigmento responsable del color de la carne (Swatland, 2003; Suman y Joseph, 2014). Tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos de la mioglobina de la carne, es decir, la cantidad total de mioglobina y la proporción de la mioglobina presente oxigenada (oximioglobina), desoxigenada (deoximioglobina) u oxidada (metamioglobina) son aspectos que en gran medida determinen la aceptabilidad y la calidad de la carne a la hora de la compra (Yang *et al.*, 2002). Este hecho va a depender de numerosos factores *ante-mortem* (raza, sexo, dieta y edad) y *post-mortem* (sacrificio, sangrado, manejo de la cadena de frío y envasado) (Mancini y Hunt, 2005; Dunne *et al.*, 2008).

Durante el proceso propio de la conversión del músculo en carne, la presencia y concentración de agentes prooxidantes y agentes antioxidantes va a ser determinante en la calidad final del producto. El agente antioxidante α -tocoferol tiene un papel “protector” importante (Sierra *et al.*, 2010; Sales y Koukolova, 2011; Hou *et al.*, 2014; Humada *et al.*, 2014) en la prevención de los procesos oxidativos de la carne que podrían dar lugar a un efecto negativo en la apreciación de los consumidores en el momento de la degustación y de la compra (Lee y Yun, 2015). En general, se ha observado que la presencia de α -tocoferol permite mejorar la vida útil de la carne y mantener la estabilidad del color (Morrissey *et al.*, 1998; Tejerina *et al.*, 2012a). De otra parte, existen numerosos estudios sobre la influencia de la suplementación de las dietas con elementos antioxidantes sobre la oxidación de la carne (Morrissey *et al.*, 1994, Liu *et al.*, 1996; Morrissey *et al.*, 1998). Sin embargo, los estudios acerca de la influencia del sistema de producción basado en el aprovechamiento de recursos naturales (pastoreo en producción ecológica) sobre la preservación del color de la carne durante la maduración son reducidos.

El objetivo del presente capítulo ha sido estudiar la influencia del sistema de producción ecológica sobre el color de la carne y su estabilidad durante la maduración de la misma. Para ello, se ha analizado la variación del color de la carne durante 21 días de maduración en dos sistemas de producción ecológica (un sistema basado fundamentalmente en el pastoreo y un sistema basado en el aporte de alimento

concentrado ecológico y forraje en cebadero) frente a un modelo convencional basado en el aporte de alimento concentrado convencional y forraje en cebadero.

6.3. Material y métodos.

Los animales utilizados para el presente estudio, así como la recogida de muestras han sido previamente descritos en el capítulo general de material, métodos y diseño experimental (capítulo 4). Para la valoración físico-química de los parámetros relacionados con el color (contenido de mioglobina, luminosidad L^* , coordenadas cromáticas a^* y b^* , intensidad del color C^* y tonalidad H°) de la carne de los terneros de raza Retinta de este estudio se han utilizado 90 muestras del músculo *Longissimus dorsi* distribuidas de la siguiente manera:

- 30 muestras del modelo de producción ecológica en pastoreo (EP).
- 30 muestras del modelo de producción ecológica en cebadero (EC).
- 30 muestras del modelo de producción convencional en cebadero (CC).

Los análisis se llevaron a cabo al inicio del proceso de maduración de la carne (T_0) y a los 7, 14 y 21 días (T_7 , T_{14} y T_{21} , respectivamente).

En la figura 19 se presenta un esquema del diseño experimental para el análisis de los parámetros relacionados con el color de la carne fresca de los terneros de raza Retinta.

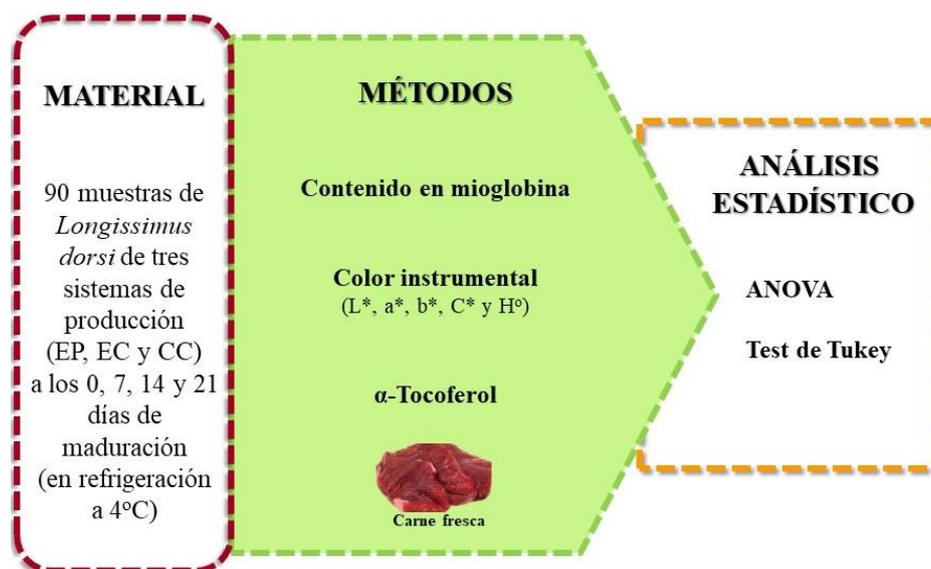


Figura 19. Esquema del material y métodos para la evaluación de los parámetros relacionados con el color de la carne fresca de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC).

6.3.1. Preparación de las muestras.

El análisis del contenido de mioglobina de la carne fresca se realizó en una porción del músculo *Longissimus dorsi* sin madurar (T₀) el mismo día de la recepción de las muestras en el laboratorio de Calidad de Carne del CICYTEX-La Orden (Badajoz). Para realizar la determinación de la luminosidad (L*) y las coordenadas cromáticas (a* y b*) de la carne en los diferentes tiempos de maduración (T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁) las muestras del músculo LD fueron previamente descongeladas a temperatura de refrigeración (4±1°C) durante 24h.

6.3.2. Contenido de mioglobina.

La determinación química del color de la carne se realizó de acuerdo al método propuesto por Hornsey (1956) en el que se calcula el contenido de pigmentos hemínicos (mioglobina). Para ello se pesaron aproximadamente 5 g de carne finamente picada. A continuación, la carne se colocó en tubos de vidrio y se añadió 1ml de agua destilada y 20 ml de acetona para extraer el pigmento. Se agitó con una varilla para evitar la aglutinación. Se añadieron 0,5 ml de HCl (35%) para separar el grupo hemo de la globina, formando clorhidrato de hematina. La mezcla se homogeneizó y preservó en oscuridad durante 24 horas en posición inclinada. Transcurrido este tiempo se filtró el contenido de los tubos con ayuda de papel de filtro Whatman nº5. El filtrado se recogió en una cubeta de cuarzo de 1cm de lado y se realizó la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro Cary 60 UV-Visible (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) a 512 nm de λ . Previamente se preparó una muestra que sirvió de blanco (20 ml de acetona, 1 ml de agua destilada y 0,5 ml de HCl 35%). El contenido de pigmentos hemínicos se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{mg mioglobina/g carne fresca} = \text{DO} \cdot (25 \text{ ml} \cdot 652 \cdot 1 \text{ kg}) \cdot 0,026 / (9,52 \cdot 10^3 \cdot 5 \text{ g} \cdot 10^{-3} \text{ g})$$

Donde: DO= densidad óptica (absorbancia de la molécula de mioglobina a 512nm).

6.3.3. Color instrumental.

La determinación de los parámetros físicos del color se realizó en la superficie del músculo *Longissimus dorsi* a T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁ mediante un colorímetro modelo Minolta

CR-300 (Minolta Camera, Osaka, Japón) y siguiendo las recomendaciones de la *American Meat Science Association* (Hunt *et al.*, 1991) (CIE-Lab).

Previamente a la toma de medidas con el colorímetro, las muestras fueron expuestas a la oxigenación en contacto con el aire durante 1 hora (*blooming*). El colorímetro se preparó para realizar tres disparos por determinación, que son integrados automáticamente en un solo resultado medio. La sonda del colorímetro se movió en cada disparo por toda la superficie de corte de la muestra, para conseguir un resultado representativo del color del músculo, evitando al mismo tiempo las zonas con grasa y manchas de sangre. Sobre la superficie de las muestras se practicaron cinco lecturas en ángulos diferentes, de las que posteriormente se calculó la media para obtener un valor único. Siguiendo las recomendaciones de Albertí (2000) el iluminante utilizado fue el D65 (representa la luz del día, incluyendo la región ultravioleta) y un observador de 10° de campo de visión. Se recogieron los valores de L* (luminosidad), a* y b* (coordenadas cromáticas). Además, estos parámetros fueron relacionados mediante las fórmulas que se exponen a continuación para obtener los valores de intensidad de color o saturación (C*) y la tonalidad del color o tono (H°) (Hunter y Harold, 1987):

$$C^* \text{ (Croma)} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

$$H^{\circ} \text{ (Tono)} = \arctan (b^*/a^*)$$

6.3.4. Determinación de α -tocoferol.

La extracción del agente natural antioxidante de la carne (α -tocoferol) se llevó a cabo mediante la técnica descrita por Liu *et al.* (1996) y modificada por Cayuela *et al.* (2003). Para ello se tomó 1g de muestra picada en un tubo falcon, se añadieron 250 mg de ácido ascórbico, 7,5 ml de solución saponificadora (KOH 11,5% en EtOH:H₂O 55:45) y 4 ml de BHT al 0,01% en isoctano. Las muestras se calentaron a 80°C durante 15 minutos. Tras el enfriamiento, se centrifugaron a 1500 rpm durante 5 minutos. La parte superior se recogió para realizar la cuantificación del contenido de α -tocoferol mediante un análisis de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

La determinación del contenido de α -tocoferol se llevó a cabo en carne madurada a T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁ usando un equipo HPLC Agilent Technologies Serie 1100 (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA), equipado con una columna Kromasil Silica (5 μ m tamaño de poro, 150•4,6 cm) (Symta, Madrid, España) y una precolumna Kromasil Silica

Guard (10 μm) (Symta, Madrid, España). La fase móvil empleada fue isoctano/tetrahidrofurano (97:3 v/v) y el flujo, 1 ml/min. El detector de fluorescencia (Agilent Technologies Series 1200) se fijó a 295 nm de longitud de onda de excitación y 330 nm de longitud de onda de emisión. La identificación y cuantificación de los picos se realizó por comparación con patrones de α -tocoferol en rango 0,2 a 14 $\mu\text{g/ml}$. Los resultados se expresaron como μg de α -tocoferol/g carne.

6.3.5. Análisis estadístico.

Todas las variables dependientes se analizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) con el paquete estadístico SPSS v.19. Para todas las variables el modelo incluyó los efectos fijos del sistema de producción y el tiempo de maduración y se utilizó un test *post-hoc* de Tukey para la comparación de medias, con un nivel de significación establecido en $p \leq 0,05$. En los resultados se detallan los valores medios y errores estándar de las medias (EEM).

6.4. Resultados y discusión.

6.4.1. Contenido de mioglobina.

El contenido medio de mioglobina de la carne fresca a T_0 de los terneros de raza Retina de este estudio se muestra en la tabla 14. Los valores obtenidos son del mismo orden a los mostrados por Albertí *et al.* (1995) y Sañudo *et al.* (1998) en añojos de raza Retinta sacrificados con pesos similares a los del presente estudio (460 kg de peso vivo). Sin embargo, recientemente Panea *et al.* (2016) encontraron valores más bajos de mioglobina en la carne de añojos de raza Retinta sacrificados con 480 kg de peso (3,07 mg mioglobina/g carne fresca).

Tabla 14. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre el contenido de mioglobina (mg mioglobina/g carne fresca) de la carne de terneros de raza Retinta.

	EP	EC	CC	EEM	Significación
Contenido de mioglobina	4,74 ^a	4,01 ^b	3,19 ^c	0,094	***

***: $p \leq 0,001$; ^{a, b, c}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media.

En la tabla 14 se observa que existe un efecto significativo entre los tres sistemas de producción en el contenido de mioglobina en la carne ($p \leq 0,001$). La carne de los terneros criados en modelos de producción ecológica presentó mayor concentración de

mioglobina (4,74 mg mioglobina/g carne fresca en EP; 4,01 mg mioglobina/g carne fresca en EC) que la carne de los terneros del sistema de producción convencional (3,19 mg mioglobina/g carne fresca en CC). Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios anteriores, en los que se describe que los músculos más ejercitados (más activos) contienen mayor contenido de mioglobina y presentan un color rojo más intenso en comparación con los músculos menos activos de la canal (Lawrie, 1998; Young y West, 2001). Estudios precedentes también han demostrado que los animales criados en sistemas extensivos, en los que los animales realizan gran cantidad de ejercicio para la búsqueda del alimento, presentan una adaptación para satisfacer la demanda muscular de oxígeno, que consiste en incrementar el contenido de mioglobina muscular, dando lugar a una carne más oscura (Bidner *et al.*, 1986; Vestergaard *et al.*, 2000). En este estudio, la producción ecológica EP está asociada a un sistema de libre pastoreo donde los animales recorren importantes extensiones para aprovechar al máximo los recursos naturales de la explotación. De acuerdo a esta observación, la mayor concentración de mioglobina en carne observada en los animales de producción ecológica puede responder a que la actividad muscular es más intensa que en el caso de los animales criados en el sistema convencional. Aunque diversos autores (Moloney *et al.*, 2000; French *et al.*, 2000; Walsh *et al.*, 2007) mantienen que el tipo de alimentación, en cuanto a su composición, no influye en el color del músculo de los rumiantes, otros estudios han comprobado que la ingesta de pasto favorece la estabilidad del color debido a una mayor concentración agentes antioxidantes como la vitamina E (Jurie *et al.*, 2006).

6.4.2. Color instrumental.

En la tabla 15 se muestran los valores medios de las variables de color instrumental (L^* , a^* , b^* , C^* y H^0) de la carne procedente de los terneros de raza Retinta de los tres sistemas de producción incluidos en este estudio (EP, EC y CC) durante 21 días de maduración.

Aunque en el presente trabajo, en general, se han observado valores menores que los encontrados por Albertí *et al.* (1995) y Sañudo *et al.* (1998) para terneros de la raza Retinta, puede decirse que las variables analizadas estuvieron dentro de los valores normales de color de la carne de los añejos comerciales del mercado español (Ripoll *et al.*, 2012). Según señalan McDougall (1982) y Resconi (2007), las carnes de bovino más aceptadas por los consumidores son aquellas que presentan valores de L^* y de C^*

inferiores a 39 y superiores a 13, respectivamente. De acuerdo a estos datos, los modelos de producción ecológicos propuestos en este trabajo producen carne, desde el punto de vista del color, de una calidad aceptable para los consumidores.

Tabla 15. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) y del tiempo de maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros de color instrumental de la carne de los terneros de raza Retinta.

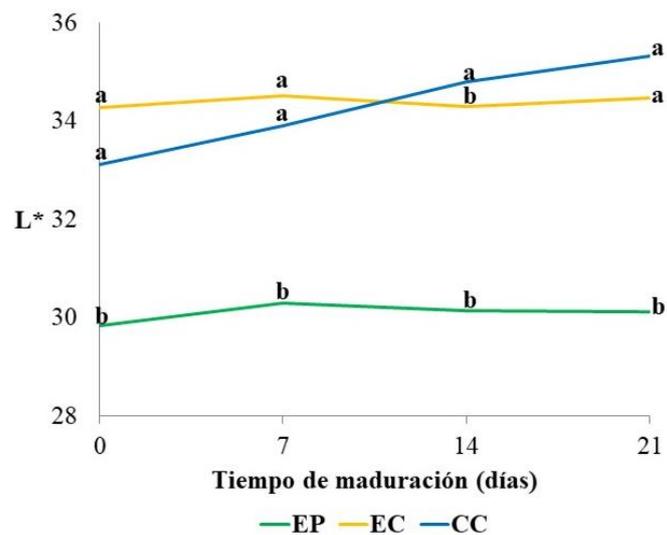
	Sistema de producción			Tiempo de maduración				EEM	Significación		
	EP	EC	CC	T ₀	T ₇	T ₁₄	T ₂₁		SP	TM	SP*TM
L*	30,44 ^b	35,02 ^a	34,16 ^a	32,18	32,36	32,74	31,99	0,156	***	ns	***
a*	15,22 ^a	13,94 ^b	12,83 ^c	13,11	13,55	14,19	14,58	0,113	***	ns	*
b*	5,27 ^a	3,99 ^c	4,66 ^b	4,05 ^b	4,35 ^{ab}	4,96 ^a	4,94 ^a	0,094	***	***	***
C*	15,99 ^a	15,89 ^a	13,40 ^b	14,6	14,17	15,43	15,14	0,183	***	ns	***
H ^o	18,16 ^a	15,95 ^b	14,63 ^b	15,11 ^b	17,53 ^a	18,35 ^a	18,72 ^a	0,301	***	***	***

ns: no significativo, *: $p \leq 0,05$, ***: $p \leq 0,001$; ^{a,b,c}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media; SP: Sistema de producción, TM: Tiempo de maduración, SP*TM: interacción entre SP y TM.

En la tabla 15 se muestra el efecto del sistema de producción (EP, EC y CC) sobre las variables de color de la carne de terneros de raza Retinta. En todas las variables instrumentales analizadas relacionadas con el color de la carne se ha observado un efecto significativo del sistema de producción ($p \leq 0,001$). La carne procedente del modelo de producción basado en pastoreo (EP) presentó valores significativamente más bajos de L* (menor luminosidad) que la carne procedente de los modelos EC y CC. Esta observación apunta a la idea de que un menor contenido de grasa de la carne puede estar relacionado con menores valores de luminosidad de la misma (Priolo *et al.*, 2001). Como se ha mostrado en la tabla 13 (capítulo 5) el contenido de grasa de la carne de los animales del modelo de producción EP fue inferior al que presentó la carne de los animales de los modelos EC y CC. De otra parte, Priolo *et al.* (2001) señalaron que el valor de L* es menor en la carne de los animales criados a base de pasto en comparación al ganado alimentado con alimento concentrado. Una razón podría ser que las dietas basadas en pasto promueven el metabolismo oxidativo a favor de las fibras musculares rojas en lugar del metabolismo anaeróbico produciendo menor grado de luminosidad de la carne (Vestergaard *et al.*, 2000).

El efecto de la maduración sobre la luminosidad de la carne de terneros de raza Retina se recoge en la tabla 15. No se observó una evolución significativa en L* a lo largo de la maduración ($p > 0,05$). Como se muestra en la figura 20, fue la carne obtenida en el

modelo EP la que presentó menores valores de L^* durante todo el tratamiento de maduración, es decir, resultó ser la menos luminosa.

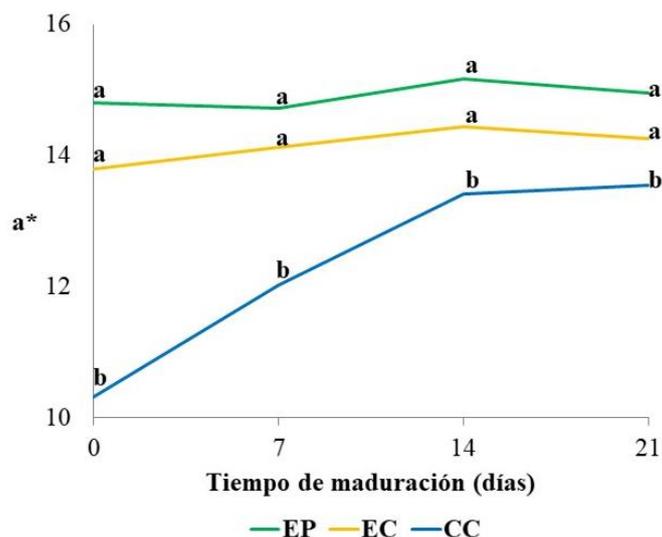


a,b: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 20. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color L^* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

En cuanto a los valores medios de la coordenada a^* , como se muestra en la tabla 15, la carne obtenida de los animales criados en el modelo de producción ecológica en pastoreo (EP) mostró mayor índice de rojo ($p \leq 0,001$) que la carne de los modelos EC y CC. Estos resultados están de acuerdo con la bibliografía consultada, donde se describe que la carne procedente de animales de producción ecológica basada en el pastoreo, en general, presenta una coloración más oscura (Frylinck *et al.*, 2013; Florek *et al.*, 2015), con mayor contenido en mioglobina, y por tanto es más roja (Raes *et al.*, 2003; Nuernberg *et al.*, 2005; Miotello *et al.*, 2009) que la de los animales producidos en sistemas más intensivos. El color más oscuro (menor L^* y mayor a^*) de la carne de terneros en pastoreo fue probablemente el resultado de la dieta y del mayor grado de actividad física de los animales al disponer de más espacio de acuerdo a las normas de producción ecológica que los animales criados en un modelo convencional (Priolo *et al.*, 2001; Razminowicz *et al.*, 2006). El engorde de los animales basado en el pastoreo promueve el metabolismo muscular oxidativo más que el anaeróbico, lo que resulta en una mayor capilaridad, menor proporción de fibras musculares de tipo IIB (blancas), mayor pigmentación y una mayor concentración de antioxidantes naturales en la carne (Ripoll *et al.*, 2013; Scollan *et al.*, 2014).

En la tabla 15 se muestra el efecto del tiempo de maduración sobre la variable a^* y en la figura 21 está representada la evolución de esta variable durante los 21 días de maduración de la carne procedente de los tres modelos de producción (EP, EC y CC).



a,b: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

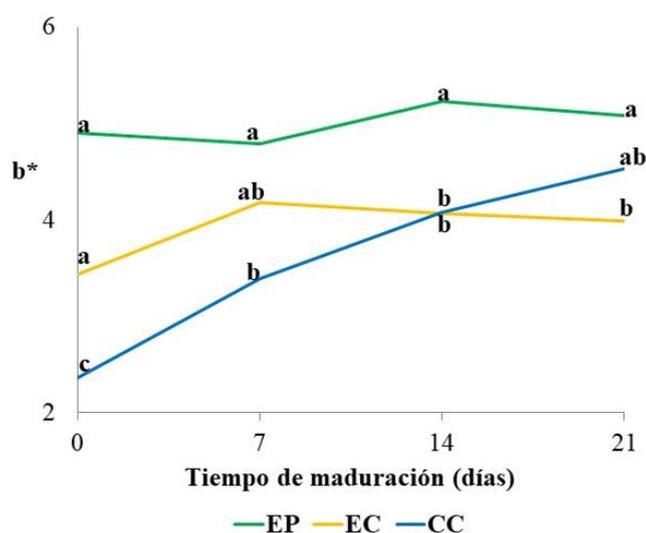
Figura 21. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color a^* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

El tiempo de maduración no tuvo un efecto significativo en la evolución de la coordenada a^* a lo largo de los 21 días de maduración de la carne de los terneros de raza Retinta ($p > 0,05$) (tabla 15). Como se puede observar en la figura 21, el comportamiento de la coordenada a^* a lo largo del tiempo de maduración de la carne del sistema convencional fue significativamente diferente de la carne producida de forma ecológica (EP y EC). La carne del modelo de producción convencional (CC) ha mostrado un incremento progresivo del índice de rojo durante todo el proceso de maduración, aunque los valores obtenidos fueron significativamente menores que la carne de los modelos de producción ecológica (EP y EC) durante los 21 días de maduración.

En la tabla 15 se muestra el efecto de los sistemas de producción sobre el índice de amarillo (b^*) de la carne procedente de los terneros de raza Retinta de este estudio. La carne obtenida de los animales criados en el modelo de producción ecológico en pastoreo (EP) mostró mayor componente amarillo (mayor índice de b^*) ($p \leq 0,001$) que la carne procedente de los animales criados en los modelos de producción EC y CC. También ha sido mostrado por otros trabajos científicos (Casasús *et al.*, 2012) que los animales de producción ecológica tradicional basada en el aprovechamiento de los pastos presentan

mayor pigmentación amarilla debida a la alta concentración de carotenos de la grasa, que los animales criados en sistemas intensivos basados en el aporte de cereales. Esta observación se pone en evidencia en los resultados del presente estudio, ya que la carne procedente de los terneros de producción ecológica basada en el pastoreo ha presentado significativamente mayor valor de índice amarillo (b^*) que los animales criados en sistema basado en el aporte de alimento concentrado. Generalmente, a la grasa se le atribuye un color más amarillo por la acumulación de pigmentos carotenoides de carácter lipófilo que provienen del forraje consumido (Noziere *et al.*, 2006, Dunne *et al.* 2006). Probablemente la determinación de la coordenada b^* podría proponerse como un método indicador del sistema de alimentación que han tenido los animales. Este aspecto es importante a tener en cuenta en los modelos de control de la trazabilidad de la producción bovina.

El tiempo de maduración tuvo un efecto significativo sobre la coordenada b^* (tabla 15; $p \leq 0,001$) y se observó una interacción significativa entre los efectos del sistema de producción y el tiempo de maduración ($p \leq 0,001$). En la figura 22 se muestra la evolución de este parámetro durante los 21 días de maduración de la carne de los tres sistemas de producción estudiados (EP, EC y CC).



a,b,c: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

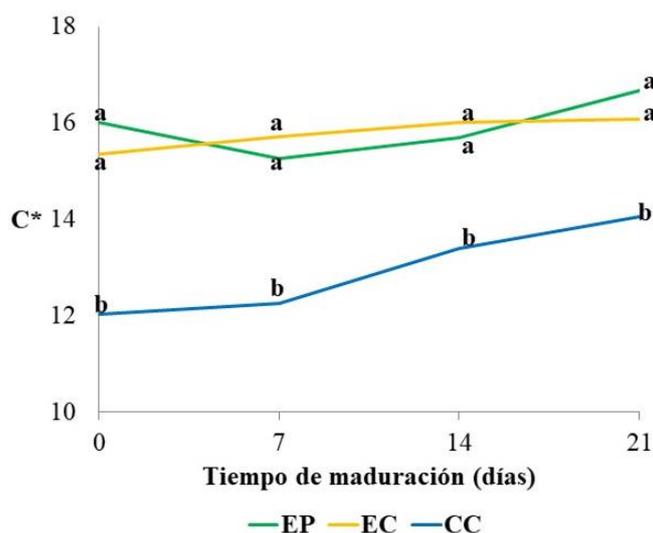
Figura 22. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color b^* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

El efecto del sistema de producción también afectó a los valores de saturación (C^*) y tonalidad (H^0) de la carne de los terneros de raza Retinta (tabla 15). Aunque en el

presente estudio, en general, se han observado valores menores de C^* y H^0 a los encontrados por Sañudo *et al.* (1998) para terneros de raza Retinta, puede decirse que las variables estuvieron dentro de los valores normales y esperados para la carne de los terneros añojos comerciales del mercado español (Ripoll *et al.*, 2012).

Respecto a la variable C^* , las carnes de los modelos EP y EC presentaron significativamente mayor valor que la carne procedente del modelo CC ($p \leq 0,001$). Esta observación implica que la carne procedente de animales engordados en sistemas ecológicos tiene una mayor intensidad del color que la carne del modelo convencional. En este sentido, Dunne *et al.* (2011) en un estudio sensorial señalaron que el consumidor valora positivamente la intensidad de color en la carne de ternera criada al aire libre a base de pastos.

El tiempo de maduración no tuvo efecto significativo sobre la variable C^* (tabla 15; $p > 0,05$). Como se observa en la figura 23 durante todo el proceso de maduración la carne obtenida a partir de los animales criados bajo producción ecológica presentó un color más intenso (mayor valor de C^*) que la carne producida a partir del modelo convencional (CC).



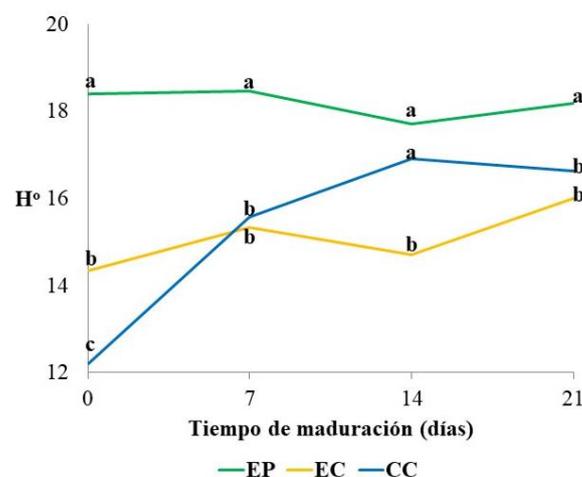
a,b: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 23. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color C^* en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

En la tabla 15 se muestra el efecto de los sistemas de producción sobre el parámetro H^0 de la carne procedente de los terneros de raza Retinta de este estudio. Se ha

observado un valor más elevado de H° en la carne procedente del modelo de producción EP ($p \leq 0,001$) que en los otros dos grupos estudiados (EC y CC), es decir, la tonalidad de color más intensa se observó en la carne procedente del modelo de producción basado en el pastoreo. Según Dunne *et al.* (2011), la tonalidad de la carne indica la percepción final del color por parte del consumidor y cuanto más alto es el valor de H° , al igual que ocurre con el parámetro C^* , más atractiva resulta la carne para el consumidor en el momento de la compra. Por lo tanto, atendiendo a los parámetros C^* y H° , en el momento de la compra la carne ecológica EP puede resultar para los consumidores ser más atractiva que la carne EC y CC.

El efecto del tiempo de maduración sobre la tonalidad (H°) de la carne de terneros de raza Retinta de los modelos de producción EP, EC y CC se muestran en la tabla 15. Hubo un efecto significativo del tiempo de maduración sobre el parámetro H° ($p \leq 0,001$). En la figura 24 se presenta la evolución de este parámetro durante los 21 días de maduración de la carne de los tres sistemas de producción estudiados (EP, EC y CC).



a,b,c: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 24. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la variable de color H° en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

Como se observa en la figura 24, con respecto a la evolución de la tonalidad de la carne procedente de los terneros de raza Retinta criados en los modelos EP, EC y CC durante el tiempo de maduración, la carne obtenida a partir de terneros retintos criados en un sistema de producción convencional mostró un patrón de evolución de H° diferente a la de producción ecológica (EP y EC). No hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) a lo largo de los días de maduración en la carne de los sistemas ecológicos (EP y EC). La

tonalidad de la carne de los terneros de raza Retinta del sistema convencional aumentó de manera más pronunciada (mayor pendiente) durante los 7 primeros días de maduración que la carne de producción ecológica, hasta alcanzar, a los 21 días de maduración, valores del mismo orden.

En general, el color de la carne de los sistemas de producción basados en el aporte de alimento ecológico propuestos en este estudio ha mostrado ser más estable que la carne procedente del sistema convencional. En la tabla 16 se presentan el contenido de agentes antioxidantes naturales (α -tocoferol) en la carne de ternera de los tres modelos de producción propuestos.

Tabla 16. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre el contenido en α -tocoferol ($\mu\text{g } \alpha$ -tocoferol/g carne fresca) de la carne de terneros de raza Retinta.

	Sistema de producción			Tiempo de maduración				EEM	Significación		
	EP	EC	CC	T ₀	T ₇	T ₁₄	T ₂₁		SP	TM	SP*TM
α -Tocoferol	1,61 ^a	1,21 ^b	0,82 ^c	1,18	1,06	1,31	1,19	0,047	***	ns	***

ns: no significativo; ***: $p \leq 0,001$; ^{a, b, c}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media; SP: Sistema de producción, TM: Tiempo de maduración, SP*TM: interacción entre SP y TM.

Se observa que el contenido de α -tocoferol en la carne ha sido mayor en los modelos ecológicos que en el modelo convencional. De acuerdo con Insani *et al.* (2008) la presencia de vitaminas antioxidantes en la carne favorece la estabilidad de los parámetros de color. Según ha sido informado en estudios anteriores (Liu *et al.*, 1996; Albertí *et al.*, 2005), podría decirse que existe un efecto de los agentes antioxidantes durante procesos largos de maduración de la carne en la estabilidad de los parámetros colorimétricos. Así, puede apuntarse la idea de que los sistemas de producción ecológica procuran una elevada cantidad de compuestos antioxidantes naturales a la carne de forma natural a través del alimento ingerido por los animales y confieren una mayor estabilidad de color a lo largo de todo el proceso de maduración que la observada en la carne de producción convencional.

6.5. Conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos del estudio del contenido en mioglobina y el color instrumental de la carne de los terneros de raza Retinta obtenida en los dos sistemas

de producción ecológica y el sistema de producción convencional valorados durante 21 días de maduración, se puede concluir lo siguiente:

Desde el punto de vista del color de la carne, los modelos de producción ecológica propuestos en este estudio se encuentran dentro de los rangos aceptables para los consumidores de carne del mercado español.

Con respecto al efecto del modelo de producción, existe una evidente influencia sobre todos los parámetros estudiados relacionados con color instrumental de la carne, observándose que la carne producida en sistemas en los que se emplea alimento ecológico en pastoreo presenta mayor índice de rojo y amarillo y consecuentemente mayor tono (H°) que la carne obtenida mediante el uso fundamentalmente de alimento concentrado (independientemente de si el pienso fue ecológico o convencional). Por ello, se puede afirmar que el efecto del modelo de producción ecológica basado en el consumo de pasto ecológico afecta al color de la carne de los terneros de raza Retinta, y por lo tanto puede influenciar al consumidor en el punto de venta de la carne. Este hecho podría ser un signo diferenciador de la carne de producción ecológica frente a la convencional.

La carne procedente de los modelos ecológicos presenta menor susceptibilidad a las variaciones de color durante los 21 días de maduración y mayor estabilidad que la carne de producción convencional. De hecho, el efecto combinado del aporte de alimento ecológico (rico en agentes antioxidantes naturales) junto con la mayor disponibilidad de espacio para el ejercicio de los animales tienen un efecto positivo en la estabilidad del color de la carne de terneros de raza Retinta durante la maduración, especialmente en el modelo de producción ecológica en pastoreo.

Capítulo 7.

La textura de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica

7. La textura de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.

7.1. Resumen.

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de dos modelos de producción ecológicos basados en el pastoreo frente al basado en el aporte de pienso ecológico y limitación de espacio, sobre las propiedades reológicas de la carne de los terneros de raza Retinta y estudiar su evolución a lo largo de 21 días de maduración. La propuesta de estos modelos de producción fue comparada con el sistema de producción convencional tradicional para esta raza, basado en el uso de alimento concentrado en cebadero convencional. Una porción del músculo *Longissimus dorsi* fue analizada durante los 0, 7, 14 y 21 días de maduración desde el sacrificio de los animales. Se llevó a cabo el análisis de pH, pérdidas de agua (*drip-loss* y *cooking-loss*), textura (WB y TPA20) y los parámetros histológicos como la longitud de los sarcómeros y el área de las fibras musculares de la carne durante el proceso de maduración. Todos los parámetros relacionados con las propiedades reológicas de la carne se vieron afectados por el modelo de producción y por el tiempo de maduración. La carne procedente de los dos modelos de producción ecológica presentó menores pérdidas de agua por goteo durante su maduración que la carne de los animales del sistema convencional. Sin embargo, las pérdidas de agua determinadas durante el cocinado fueron mayores en la carne de los terneros de producción ecológica que en la carne de producción convencional.

La carne procedente del sistema de producción ecológica fundamentada en el pastoreo fue más dura inicialmente, pero mostró un ablandamiento más rápido durante el proceso de maduración que las carnes (ecológica y convencional) producidas en base al uso de alimento concentrado.

Se ha observado un efecto significativo del modelo de producción respecto a la longitud de los sarcómeros. Así, la carne obtenida a partir de los sistemas de producción con espacio reducido (tanto ecológico como convencional) presentó mayor longitud de los sarcómeros que la obtenida a partir del modelo de producción con amplia disponibilidad de espacio para el ejercicio (pastoreo). Sin embargo, la mayor área de la fibra muscular se ha observado en la carne procedente del sistema de producción basado en la disponibilidad de espacio para el ejercicio. Estos resultados sugieren que las diferencias histológicas encontradas pueden ser debidas a la disponibilidad de espacio

que tuvieron los animales para realizar ejercicio, más que al tipo de alimentación suministrada al ganado. Tanto en los modelos de producción ecológicos propuestos (basado en pastoreo y en cebadero) como en el sistema convencional, el proceso de ablandamiento de la carne más acusado comenzó transcurridos 14 días de maduración.

7.2. Introducción.

Entre todos los atributos de textura de la carne, la ternera se ha considerado el principal factor que afecta a la satisfacción del consumidor en el momento del consumo (Shackelford *et al.*, 2001; Thomson, 2002). Tanto es así, que está demostrado que los consumidores de carne de ternera están dispuestos a pagar un precio más elevado para asegurar la compra de una carne más blanda (Monson *et al.*, 2005).

La textura es un atributo complejo que se ve afectado por muchos factores. Alguno de ellos (intrínsecos a la estructura muscular) como son la composición y el estado contráctil de las fibras musculares, la cantidad y solubilidad del tejido conectivo y el grado de proteólisis *post-mortem* (Joo *et al.*, 2013) tienen una repercusión directa en este atributo. Además, existen factores extrínsecos al animal que también afectan a la apreciación sensorial de la textura de la carne. De todos ellos, la alimentación del animal y el proceso de maduración de la carne han sido considerados como los factores más influyentes en la calidad final del producto (Ruiz de Huidobro *et al.* 2003; Lawrie y Ledward 2006; Descalzo *et al.*, 2007).

La maduración de la carne es un proceso complejo en el que se producen cambios proteolíticos en los músculos después del sacrificio del animal. El tiempo de maduración de la carne es un factor determinante en la adquisición de un grado de ternera adecuado debido al ablandamiento de la misma, que se atribuye a la degradación progresiva y selectiva de la estructura de las miofibrillas por parte de enzimas proteolíticas endógenas (Perry, 2012; Kemp y Parr, 2012).

Otro factor que va a estar íntimamente relacionado con el grado de ternera de la carne es la posibilidad de movimiento de los animales, hecho que ha sido descrito, puede afectar a las características de las proteínas miofibrilares (Aalhus *et al.*, 1991; Frylinck *et al.*, 2013). En este sentido, de acuerdo al Reglamento CE 834/2007 para la producción ecológica, los terneros criados en sistemas ecológicos deben contar con la posibilidad de acceder a una zona de libre de ejercicio donde puedan desarrollar su comportamiento

natural asegurando a los animales el máximo confort posible (Caballero *et al.*, 2003 y Jankowska-Huflejt *et al.*, 2004).

La evaluación de la terneza de la carne puede llevarse a cabo mediante métodos sensoriales e instrumentales (Destefanis *et al.*, 2008; Hildrum *et al.*, 2009). El método instrumental más ampliamente utilizado es la fuerza de corte de Warner-Bratzler (WB), habiendo sido demostrado que este análisis instrumental ofrece resultados altamente correlacionados con la percepción de terneza obtenida en las evaluaciones realizadas por los consumidores (Destefanis *et al.*, 2008; Brewer y Novakofski, 2008; Schönfeldt y Strydom, 2011). Se trata de un método directo mediante el cual una cizalla mide la fuerza de corte, es decir, la resistencia de la carne a ser cortada, procurando un dato objetivo que relaciona mayores valores de fuerza de corte con la apreciación de menor terneza.

Existen multitud de estudios enfocados en el estudio de los sistemas de producción ecológica en la salud (Nardone *et al.*, 2004; Sundrum, 2001) o el bienestar de los animales (Wagenaar *et al.*, 2011) y especialmente se pueden encontrar estudios en el sector comercial acerca de la aceptación de los alimentos ecológicos por parte de los consumidores (Lee y Yun, 2015; García-Torres *et al.*, 2016). Sin embargo, a día de hoy son escasos los estudios centrados en la calidad de la carne de ternera producida bajo las directrices de la producción ecológica (Razminowicz *et al.*, 2006) y concretamente en los parámetros relacionados con la textura de misma.

Por ello, con el fin de aportar información acerca de la textura de la carne de los terneros de raza Retinta de producción ecológica, en este capítulo se estudiará el efecto de dos modelos producción ecológica (basado fundamentalmente en la práctica del pastoreo frente al aporte de alimento concentrado ecológico y forraje en cebadero) en comparación con un sistema convencional de producción (basado en el aporte de alimento concentrado convencional y forraje en cebadero) sobre las propiedades reológicas de la carne durante el periodo de 21 días de maduración.

7.3. Material y métodos.

En el capítulo 4, correspondiente a material, métodos y diseño experimental se describen con detalle las características de los animales utilizados para el estudio y la recogida de muestras. Para los análisis recogidos en el presente capítulo se han utilizado

90 muestras del músculo *Longissimus dorsi* de los terneros de raza Retinta, distribuidas de la siguiente manera:

- 30 muestras del modelo de producción ecológica en pastoreo (EP).
- 30 muestras del modelo de producción ecológica en cebadero (EC).
- 30 muestras del modelo de producción convencional en cebadero (CC).

El diseño experimental para el análisis del valor de pH, la capacidad de retención de agua y la textura instrumental (WB y TPA) de la carne de los terneros de raza Retinta se presenta en el esquema de la figura 25.



Figura 25. Esquema del material y métodos para la evaluación de parámetros relacionados con la textura de la carne fresca y cocinada de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológica de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC).

7.3.1. Preparación de las muestras.

El análisis de pH se realizó sobre muestras frescas de músculo LD antes de la congelación. La capacidad de retención de agua (pérdidas de agua por goteo y por cocinado) y la textura instrumental (WB y TPA20) y los análisis histológicos (longitud de sarcómeros y área de fibras musculares) de la carne se llevó a cabo en las muestras del músculo LD previamente descongeladas a temperatura de refrigeración ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) durante 24h.

7.3.2. Determinación del pH.

La valoración del pH de la carne de los terneros se realizó mediante un pH-metro Crison modelo 554TC conectado a un electrodo de penetración combinado con una sonda de temperatura (Crison Instruments, Alella, Barcelona, España). Para determinar el valor de pH se practicó una pequeña incisión en la superficie del músculo *Longissimus dorsi* donde se introdujo el electrodo de penetración y la sonda de temperatura. Las lecturas del valor de pH se realizaron por duplicado en todos los momentos de maduración (T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁). Para el calibrado del equipo se utilizaron soluciones tampón de pH=7 y pH=4.

7.3.3. Capacidad de Retención de Agua.

La CRA se determinó en todos los tiempos de maduración (T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁) mediante el método de pérdidas por goteo (*drip-loss*) descrito por Honikel (1998) y mediante la valoración de las pérdidas por cocinado (*cooking-loss*) propuesto por Combes *et al.* (2003).

7.3.3.1. Pérdidas por goteo (*drip-loss*).

Las pérdidas por goteo de la carne fresca se calcularon de acuerdo a la diferencia de peso entre los diferentes días de maduración de acuerdo a: T₀-T₇, T₇-T₁₄ y T₁₄-T₂₁. Las muestras, durante todo el tiempo de maduración, se depositaron sobre una malla situada encima de una bandeja para coleccionar el exudado y mantenidas a 4±1°C. Las pérdidas por goteo se calcularon de la siguiente manera:

$$\% \text{ pérdidas por goteo} = (P_I - P_F) / P_I \cdot 100$$

Donde: P_I: peso del filete al inicio de la maduración (T₀, T₇ o T₁₄, según corresponda) (en gramos).

P_F: peso del filete al final de la maduración (T₇, T₁₄ o T₂₁, según corresponda) (en gramos).

7.3.3.2. Pérdidas por cocinado (*cooking-loss*).

Las muestras conservadas al vacío en congelación correspondientes a los diferentes tiempos de maduración fueron descongeladas y cocinadas por inmersión en un baño de agua regulado a 80°C durante aproximadamente 45 minutos hasta alcanzar una

temperatura interna en cada muestra de 70°C. Las pérdidas por cocinado se determinaron calculando la diferencia de peso antes y después del cocinado de la siguiente manera:

$$\% \text{ pérdidas por cocinado} = (P_I - P_F) / P_I \cdot 100$$

Donde: P_I: peso del filete antes del cocinado (en gramos).

P_F: peso del filete después del cocinado (en gramos).

7.3.4. Textura instrumental.

Las propiedades reológicas de la carne se determinaron mediante métodos objetivos en todos los tiempos de maduración (T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁) empleando un Texturómetro TA-XT2i Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, Reino Unido) y el programa informático TE3 Lite Express. Se realizaron dos tipos de ensayos diferentes, un test de fuerza de corte, mediante una sonda de Warner-Bratzler, y un Análisis de Perfil de Textura mediante un test de compresión con una sonda cilíndrica.

7.3.4.1. Análisis Warner-Bratzler (WB) de la fuerza de corte.

El análisis WB se realizó determinando la resistencia máxima de la carne al corte. Las muestras utilizadas para el cálculo de las pérdidas por cocinado (apartado 7.3.3.2) fueron atemperadas a temperatura ambiente durante 30 minutos y seguidamente se dispusieron en la nevera regulada a 4±1°C durante 24 horas. Todas las muestras se cortaron en varios prismas de 15•30•15 mm (ancho•largo•alto) siguiendo la longitud de las fibras musculares, incidiendo la sonda transversalmente al sentido del eje longitudinal de las mismas. Para realizar este test se utilizó una sonda Warner-Bratzler que produce un efecto de cizallamiento y de ruptura. Se realizó un número variable de réplicas, siempre mayor de 7 por muestra.

En el ensayo WB se obtuvieron gráficas de fuerza frente a tiempo a partir de las cuales se calcularon el valor de fuerza máxima o dureza (kg•cm⁻²) como el punto máximo positivo de la curva (Moller, 1980), la firmeza al corte (kg•s⁻¹) de la muestra representado por la pendiente desde el principio del corte hasta el punto más alto de la curva (Brady *et al.*, 1985) y el trabajo total requerido para cortar la muestra (kg•s) representada por el área bajo la curva obtenida.

7.3.4.2. Análisis de perfil de textura (TPA).

De acuerdo a la metodología propuesta por Bourne (1978), el análisis TPA de la carne se realizó con una sonda de émbolo plana de 20 mm de diámetro (P/20) conectada a una célula de carga de 25 kg que ejerce una presión determinada sobre la muestra hasta un valor de deformación fijado. Se realizaron dos ciclos de compresión separados entre sí por un tiempo de 2 segundos. Para ello, se obtuvieron muestras de 1 cm³ a partir de carne cocinada en baño de agua caliente (mismas condiciones que en el ensayo de WB) que fueron comprimidas axialmente en dos ciclos de compresión. En el ensayo se realizó un porcentaje de compresión al 20% (TPA20) a partir de la altura original de la muestra, para determinar la contribución de las estructuras miofibrilares sin la intervención del tejido conectivo en la textura de la carne (Lepetit y Culioli, 1994). La velocidad del desplazamiento de la sonda para la compresión fue de 2 mm/s.

En este ensayo se obtuvieron gráficas de fuerza frente a tiempo a partir de las cuales se calcularon los parámetros de elasticidad (m), masticabilidad (kg•m•s⁻²), resiliencia (adimensional) y cohesividad (adimensional) de la carne. Dichas gráficas están formadas por dos curvas, correspondientes a los dos ciclos de compresión y descompresión realizados.

7.3.5. Análisis histológico de las fibras musculares.

La caracterización del estado de las fibras musculares durante todo el proceso de maduración de la carne (T₀, T₇, T₁₄ y T₂₁) se realizó por observación microscópica de la longitud de los sarcómeros y del área de las fibras musculares. Para ello se utilizó un microscopio óptico Nikon (modelo Eclipse 50i). Las muestras del músculo *Longissimus dorsi* se cortaron en piezas de 1 cm², en paralelo a la dirección de las fibras musculares. Las muestras se dejaron madurar a 4±1°C durante 0, 7, 14 y 21 días. Inmediatamente después fueron congeladas utilizando nitrógeno líquido y se mantuvieron a -80°C hasta la realización de los siguientes análisis histológicos.

7.3.5.1. Longitud de los sarcómeros.

La determinación de la longitud del sarcómero se realizó siguiendo las recomendaciones de Torrescano *et al.* (2003). Las muestras del músculo *Longissimus dorsi* se fijaron en glutaraldehído (2,5% v/v en tampón de fosfato pH 6,5). Posteriormente, se extrajeron 4 haces de fibras musculares de cada muestra con el uso de una lupa y se

colocaron en un portaobjetos de vidrio tintados con soluciones de contraste con hematoxilina-eosina. Se realizaron 150 medidas para cada tiempo de maduración (T_0 , T_7 , T_{14} y T_{21}) utilizando un objetivo de inmersión (x100) y contraste de fase. El software de análisis de imagen utilizado para evaluar la longitud de los sarcómeros fue el Nis-Elements 3.10.

7.3.5.2. Área de las fibras musculares.

Para determinar el área de las fibras musculares (μm^2), las muestras del músculo *Longissimus dorsi* congeladas en nitrógeno líquido se bañaron con Tissue-Tek (Sakura Finetek Europa, Zoeterwoude, Países Bajos) para realizar cortes seriados de 10 μm de espesor en un criostato con microtomo de rotación estándar encerrado en una cámara fría a -20°C . Los cortes se colocaron sobre portaobjetos de vidrio recubiertos con poli-L-lisina (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EEUU). En el estudio se emplearon entre 100 y 150 fibras seleccionadas al azar por muestra. El análisis de imagen se realizó mediante el software Nis-Elements 3,10 y un aumento de imagen x100.

7.3.6. Análisis estadístico.

Se realizó un análisis estadístico mediante una prueba ANOVA de dos vías para determinar los efectos del sistema de producción y del tiempo de maduración sobre el pH, las pérdidas de agua, las propiedades reológicas instrumentales y los parámetros histológicos de las muestras de músculo *Longissimus dorsi*. Se realizó un test *post-hoc* de Tukey para comparar las medias, con una significación establecida de $p \leq 0,05$. En los resultados se detallan los valores medios y errores estándar de las medias (EEM). El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico SPSS v.19.

7.4. Resultados y discusión.

7.4.1. pH.

Los valores de pH de la carne fresca de los terneros de raza Retinta de este estudio se muestran en la tabla 17. Estos valores son del orden a los descritos por Avilés *et al.* (2015) para terneros convencionales de la raza Retinta (rango entre 5,50 y 5,60). Este rango de pH indica que la carne del presente estudio no presenta problemas asociados a carnes de tipo DFD (Miranda de la Lama *et al.*, 2013) o a otros procesos anómalos durante la glucólisis *post-mortem* del tejido muscular (Ripoll *et al.*, 2013; Florek *et al.*, 2015).

En cuanto a los resultados del análisis de la varianza para los valores de pH de la carne se observó un efecto significativo del sistema de producción ($p \leq 0,05$; tabla 17). El valor de pH de la carne procedente de los sistemas de producción ecológica (EP y EC) fue significativamente más bajo que el observado en la carne obtenida en el sistema convencional. Un aumento en la actividad física de los animales generalmente se asocia con la depleción de glucógeno muscular (Bond y Warner, 2007). Estudios previos han mostrado que la carne de los animales criados en sistemas de producción extensivos mostró un pH elevado causado por una escasez de glucógeno muscular en el momento del sacrificio o, de otra parte, debido a una menor actividad de una de las enzimas glucogenolíticas o glucógeno sintetasa (Vestergaard *et al.*, 2000; Bond y Warner, 2007). Sin embargo, en el presente trabajo se observó que la carne obtenida a partir de terneros de raza Retinta criados en un sistema con libertad de movimiento presentó un pH más bajo. Petersen *et al.* (1998) informaron, en un estudio llevado a cabo en ganado porcino, que mediante la actividad física espontánea de los animales criados al aire libre o con acceso a áreas extensas se puede producir una adaptación del metabolismo muscular, mejorando la capacidad de generación de ATP aeróbica o glicolítica en lugar de anaeróbica. Estas adaptaciones son ahorradoras de glucógeno (Petersen *et al.*, 1997; Essén-Gustavsson *et al.*, 1988; Henckel *et al.*, 2000). De hecho, los resultados de Sather *et al.* (1997) mostraron una tasa más rápida de caída de pH en la carne de animales criados al aire libre que los animales criados en cebadero.

Tabla 17. Efecto del sistema de producción (EP=ecológico de pasto, EC=ecológico de cebo y CC=cebo convencional) y del tiempo de maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre pH y los parámetros de capacidad de retención de agua (pérdidas por goteo y pérdidas por cocinado) de la carne de los terneros de raza Retinta.

	Sistema de producción			Tiempo de maduración (días)				EEM	Significación		
	EP	EC	CC	0	7	14	21		SP	TM	SP*TM
pH	5,55 ^b	5,54 ^b	5,60 ^a	5,52 ^b	5,56 ^{ab}	5,60 ^{ab}	5,63 ^a	0,017	*	*	*
Pérdidas por goteo (%)	5,42 ^b	4,44 ^b	6,80 ^a	-	3,04 ^c	4,28 ^b	6,48 ^a	0,197	***	***	***
Pérdidas por cocinado (%)	24,48 ^a	25,36 ^a	22,25 ^b	25,61 ^b	27,51 ^a	24,97 ^c	23,64 ^c	0,217	***	***	***

*: $p \leq 0,05$, ***: $p \leq 0,001$; ^{a,b,c}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media; SP: Sistema de producción, TM: Tiempo de maduración, SP*TM: interacción entre SP y TM.

La evolución del valor de pH de la carne de terneros de raza Retinta procedente de los tres sistemas de producción (EP, EC y CP) durante 21 días de maduración se

muestra en la tabla 17. El tiempo de maduración de la carne tuvo un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en los valores de pH medidos en el musculo LD. Además, se observó una interacción significativa entre los sistemas de producción y el tiempo de maduración ($p \leq 0.05$). Según Savell *et al.* (2005) en la carne de ternera se espera que el descenso del valor de pH llegue a término en torno a las 48 horas dependiendo de las condiciones de refrigeración. Sin embargo, en el presente estudio, aunque las diferencias significativas sólo se encontraron entre los 0 y 21 días de maduración, el pH de la carne mostró una tendencia ascendente durante todo el proceso de maduración. Esta evolución está en concordancia con lo observado por Franco *et al.* (2009), en un estudio realizado en terneros de la raza Holstein-Fresian, donde el pH aumentó significativamente hasta los 21 días de maduración de la carne.

7.4.2. Capacidad de Retención de Agua.

En la tabla 17 se muestran los valores medios de CRA (pérdidas por goteo y pérdidas por cocinado) de la carne procedente de los terneros de raza Retinta de los sistemas de producción EP, EC y CC.

7.4.2.1. Pérdidas por goteo (*drip-loss*).

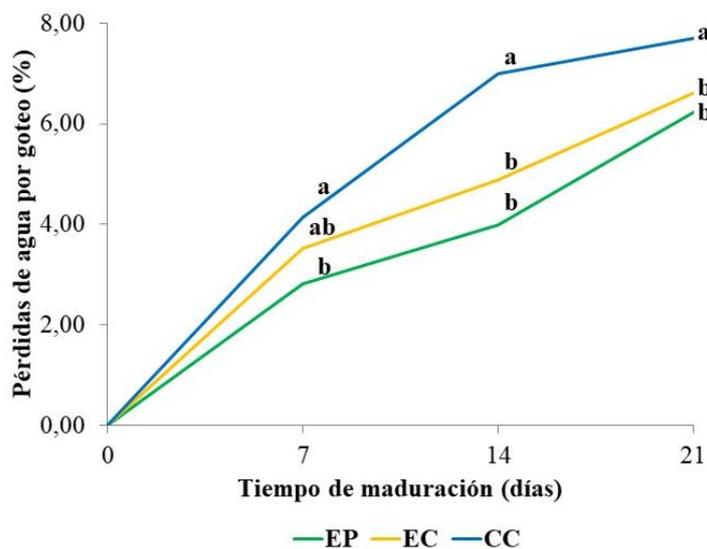
Los valores de pérdidas de agua de la carne fresca de los terneros de raza Retinta del presente estudio se muestran en la tabla 17. Los resultados obtenidos de pérdidas de agua por goteo fueron superiores a los observados por Panea *et al.* (2016) en la carne de los terneros de la raza Retinta de modelo de producción convencional como en la de otras razas rústicas como Pirenaica y Asturiana de los Valles. Estas diferencias podrían ser debidas a que el estudio fue llevado a cabo en razas rústicas criadas en sistemas de producción convencional mientras que en el presente estudio dos de los tres modelos propuestos se caracterizaron por la libertad de movimiento de los animales asociados al sistema de producción ecológica.

Se ha observado un efecto significativo ($p \leq 0,001$) del sistema de producción sobre las pérdidas de agua por goteo (tabla 17). La carne procedente de los modelos de producción ecológicos (EP y EC) presentó significativamente mayor capacidad para retener el agua constitutiva (menores pérdidas de agua por goteo) que la carne del modelo de producción convencional (CC). Estudios previos mostraron que novillos alimentados con dietas que contenían altos niveles de vitamina E tuvieron menores pérdidas por goteo

(Gray *et al.*, 1996) que aquellos novillos que se alimentaron con dietas bajas en esta vitamina liposoluble. De acuerdo a nuestros resultados, como se pudo observar en la tabla 16 (capítulo 6), la carne procedente de los modelos de producción ecológicos resultó ser más rica en el agente antioxidante α -tocoferol que la obtenida en el modelo CC. Entre otras funciones, se ha descrito que el α -tocoferol preserva la integridad de las membranas de las células musculares, inhibe el paso del fluido sarcoplásmico y actúa como un agente antioxidante que amortigua la actividad de los radicales libres evitando así las pérdidas de agua (Asghar *et al.*, 1991). De otra parte, Olsson *et al.* (2003) sugirieron en un estudio llevado a cabo en ganado porcino que la reducción en las pérdidas de agua por goteo de la carne es en su mayoría atribuible al aumento de la actividad física que tienen los animales criados en modelos de producción ecológicos. Ambas teorías apoyan la idea de que las pérdidas por goteo se vieron afectadas tanto por las características de la alimentación de los animales criados en modelos ecológicos como por la disponibilidad de espacio que exige este sistema de producción.

El efecto del tiempo de maduración de la carne de terneros de raza Retinta en los modelos de producción propuestos (EP, EC y CC) sobre las pérdidas por goteo se muestra en la tabla 17. Las pérdidas de agua por goteo se vieron afectadas por el tiempo de maduración ($p \leq 0,001$), aumentando progresivamente hasta los 21 días de tratamiento, momento en el que se observaron las mayores pérdidas (6,48%). Los valores encontrados en el presente trabajo coinciden con los de otros autores. Así, Ripoll *et al.* (2013) señalan un aumento casi lineal de las pérdidas de agua por goteo con el tiempo de maduración en la carne procedente de terneros de raza Parda de Montaña. También Morón y Zamorano (2004) y Jayasooriya *et al.* (2007) observaron evidencias del aumento de liberación de agua por goteo durante la maduración de la carne de diferentes animales de granja (incluyendo la ternera). Las pérdidas por goteo son consecuencia de la degradación de las proteínas del citoesqueleto (Kristensen y Purslow, 2001) y de la acción de enzimas que eliminan el enlace entre las miofibrillas, desarrollando canales de goteo que causan el flujo de agua en el espacio extracelular (Bertram *et al.*, 2004; Hughes *et al.*, 2014). La maduración provoca que los haces de fibras musculares se vuelvan menos compactos, lo cual permite el movimiento del agua a través de ellos y la salida de agua por gravedad hacia la superficie de la carne, que es la principal causa del goteo (Offer *et al.*, 1989; Offer y Cousins, 1992).

De otra parte, respecto a las pérdidas de agua de la carne, se ha observado una interacción significativa entre los sistemas de producción y el tiempo de maduración de la carne de terneros de raza Retinta ($p \leq 0,001$). Como se muestra en la figura 26, las pérdidas de agua por goteo fueron aumentando hasta los 21 días de maduración en la carne procedente de los tres sistemas (EP, EC y CC).



a,b: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 26. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre las pérdidas de agua por goteo (%) y el tiempo de maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

No obstante, la carne obtenida de los modelos ecológicos EP y EC mostraron un patrón de evolución de la maduración a lo largo del tiempo similar y con menores pérdidas de agua por goteo que la carne procedente del sistema CC durante todos los días de estudio. Este hecho refuerza la idea del factor protector del α -tocoferol (que se encuentra en la carne de los animales de producción ecológica) sobre la integridad de las membranas celulares que conlleva a la disminución del flujo de agua por los canales de goteo (Asghar *et al.*, 1991; Gray *et al.*, 1996).

7.4.2.2. Pérdidas por cocinado (*cooking-loss*).

Durante la cocción, la carne puede perder una gran cantidad de su masa en forma de jugo. La mayor parte de las pérdidas de agua durante la cocción de la carne proviene del jugo expulsado por la desnaturalización y contracción de las proteínas del músculo causadas por el aumento de la temperatura (Tornberg, 2005; Kondjoyan *et al.*, 2013; Hughes *et al.*, 2014). En la tabla 17 se presentan los resultados obtenidos en la

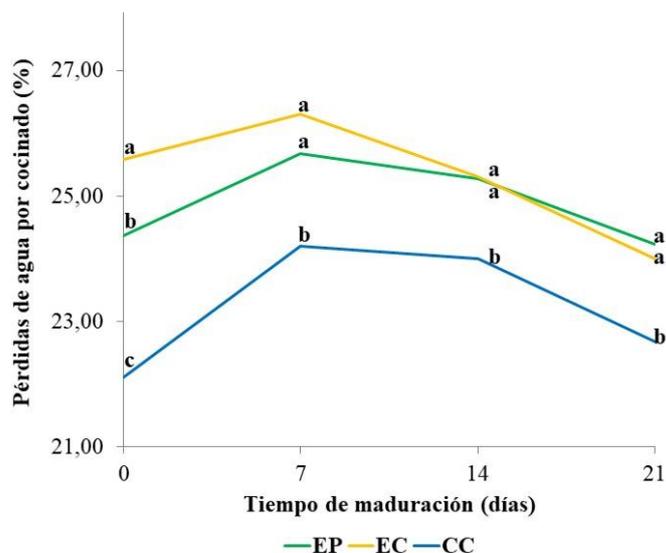
determinación de las pérdidas de agua de la carne de terneros de raza Retinta debidas al efecto del cocinado en los tres sistemas de producción de este estudio. En general, los valores descritos en relación a las pérdidas de agua en la carne de terneros de raza Retinta del presente estudio están dentro del rango descrito por otros autores en ensayos con carne cocinada de terneros de raza Retinta (Avilés *et al.*, 2015) (valores comprendidos entre 21,6% y 26,9% de pérdidas). También Ruiz de Huidobro *et al.* (2003) encontraron resultados del mismo orden al estudiar las pérdidas de agua de la carne cocinada provenientes de los músculos *Longissimus thoracis* y *Longissimus lumborum* de terneros de raza Avileña-Negra Ibérica.

El sistema de producción de los terneros tuvo un efecto significativo sobre la capacidad para retener el agua constitutiva durante el cocinado ($p \leq 0,001$). El resultado obtenido fue el opuesto al observado para las pérdidas de agua por goteo (tabla 17). Así, la carne procedente de los modelos de producción ecológicos (EP y EC) presentó mayores pérdidas de agua durante el cocinado (menor CRA) que la carne procedente del modelo convencional (CC). Este resultado podría ser debido a una disminución en el espacio entre las miofibrillas del músculo LD debido a cambios musculares sufridos por los animales ecológicos criados en condiciones de libertad al estar más ejercitados (Bond y Warner, 2007; Domaradzki *et al.*, 2017). Algunos estudios previos encontraron las pérdidas por cocinado significativamente menores en la carne ecológica de terneros en pastoreo en comparación con las muestras de carne de terneros criados convencionalmente, mientras que Razminowicz *et al.* (2006) no encontraron diferencias entre diferentes sistemas de producción ecológico o convencional.

El efecto del tiempo de maduración de la carne durante de 21 días sobre las pérdidas de agua por cocinado se muestra en la tabla 17. Las pérdidas de agua causadas por el cocinado se vieron significativamente afectadas por el tiempo de maduración ($p \leq 0,001$). Las mayores pérdidas de agua por cocinado se observaron cuando la carne se cocinó a los 7 días de maduración (26,61%) y fueron disminuyendo progresivamente hasta los 21 días de tratamiento. Estos resultados no apoyan la hipótesis propuesta por Honikel (2004), quien informó acerca de que existe una relación lineal positiva entre las pérdidas de agua por cocinado y la maduración de la carne. Estas pérdidas de agua por cocinado probablemente se podrían asociar con la pronunciada contracción de las fibras musculares y un aumento de los espacios extramiofibrilares dando lugar a una liberación

importante del agua retenida al exterior en la matriz miofibrilar durante los primeros días de maduración de la carne (Straadt *et al.*, 2007).

Se ha observado un efecto de interacción entre el sistema de producción y el tiempo de maduración ($p \leq 0,001$) en las pérdidas de agua por cocinado. Los patrones de evolución de este parámetro en la carne procedente de los terneros de raza Retinta de los sistemas de producción EP, EC y CC durante los 21 días de maduración se muestran en la figura 27.



a,b,c: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 27. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre las pérdidas de agua por cocinado (g/100 g de carne fresca) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

Las pérdidas de agua por cocinado fueron significativamente diferentes entre los tres sistemas de producción propuestos al inicio del proceso de maduración ($p \leq 0,001$). Sin embargo, el patrón de evolución de las pérdidas de agua por cocinado fue similar entre los dos modelos de producción ecológica a pasto (EP) y a pienso (EC) durante los 21 días de maduración. Estos modelos de producción dieron lugar a una carne con mayor pérdida de agua por cocinado que la carne procedente del sistema de producción convencional durante todo el proceso de maduración.

7.4.3. Textura instrumental.

7.4.3.1. Análisis Warner-Bratzler (WB) de la fuerza de corte.

El efecto del sistema de producción sobre la dureza de la carne cocinada en diferentes momentos de maduración, medida instrumentalmente con el análisis Warner-Bratzler se muestra en la tabla 18. El sistema de producción afectó a los valores de fuerza de corte ($p \leq 0,001$), la firmeza ($p \leq 0,001$) y el trabajo total ($p \leq 0,001$) de las muestras cocinadas del músculo LD. Así, la carne de animales procedentes del modelo de producción ecológico asociado al pastoreo (EP) mostró valores más altos en la fuerza máxima, firmeza y trabajo total que la carne de sistemas de producción basados en el aporte de alimento concentrado (EP y EC).

Tabla 18. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros de textura instrumental (WB) de la carne de los terneros de raza Retinta.

	Sistema de producción			Tiempo de maduración (días)				EEM	Significación		
	EP	EC	CC	0	7	14	21		SP	TM	SP*TM
Fuerza máxima (kg•cm ⁻²)	6,79 ^a	5,21 ^b	5,08 ^b	8,66 ^a	6,67 ^b	5,04 ^c	4,32 ^c	0,171	***	***	***
Firmeza (kg•s ⁻¹)	11,23 ^a	8,15 ^b	8,76 ^b	13,07 ^a	9,82 ^b	8,64 ^{bc}	7,37 ^c	0,250	***	***	***
Trabajo total (kg•s)	1,30 ^a	1,15 ^b	1,07 ^b	1,71 ^a	1,27 ^b	1,02 ^c	0,90 ^c	0,030	***	***	***

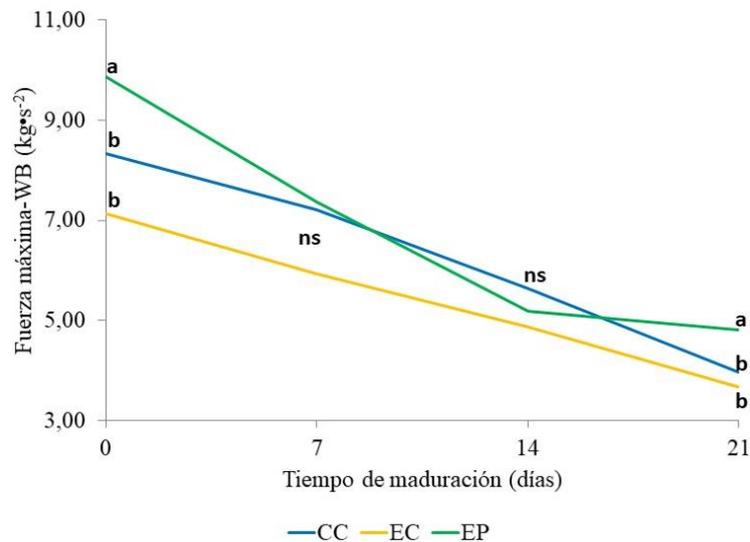
***: $p \leq 0,001$; a,b,c: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media; SP: Sistema de producción, TM: Tiempo de maduración, SP*TM: interacción entre SP y TM.

Aunque hay poca literatura científica respecto al efecto de modelos de producción ecológicos sobre la textura de la carne, Olsson *et al.* (2003) encontraron resultados similares en ganado porcino ecológico a los observados en el presente estudio. De otra parte, Bjorklund *et al.* (2014) en un estudio de carne de ganado bovino de raza Holstein no encontraron diferencias significativas en la dureza de la carne producida en sistemas de producción ecológica y sistemas de producción convencionales. Otras investigaciones basadas en modelos de producción convencionales muestran que una dieta basada en el aprovechamiento de pastos y sistemas de producción extensivos producen carne más dura que la procedente de modelos de producción basados en el uso de alimento concentrado (Nuernberg *et al.*, 2005; Marino *et al.*, 2006; Ripoll *et al.*, 2013). Varias razones podrían explicar por qué la carne ecológica de animales alimentados con pasto, en condiciones de extensividad, es más dura que la obtenida a partir de sistemas de producción basados en el uso de alimentos concentrados. Entre ellas, algunos autores han sugerido la influencia

de la grasa intramuscular en la terneza de la carne. Según detallan Moon *et al.* (2006), Hocquette *et al.* (2010), Aldai *et al.* (2012) y Joo *et al.* (2013) la grasa intramuscular mejora la terneza de la carne, o lo que es lo mismo, disminuye la fuerza de corte, la firmeza y el trabajo necesario para ser cortada. Sin embargo, en el presente estudio la carne producida a partir de los animales criados en sistema ecológico asociado con gran disponibilidad de movimiento presentó menores valores de grasa intramuscular (tabla 13). De otra parte, el hecho de que la carne obtenida a partir de animales criados en pastoreo resultase ser más dura y firme podría explicarse por un mayor desarrollo muscular y mayor contenido de tejido conectivo del músculo *Longissimus dorsi* (Aalhus *et al.*, 1991; Nuernberg *et al.*, 2005; Marino *et al.*, 2006; Frylinck *et al.*, 2013).

El efecto de la maduración sobre los parámetros de textura instrumental determinados con el análisis de WB se recoge en la tabla 18. El proceso de maduración tuvo un efecto significativo sobre todos los parámetros estudiados relacionados con la textura de la carne (fuerza máxima, firmeza y trabajo total; $p \leq 0,001$). En general, la maduración *post-mortem* mejoró la terneza de la carne de los terneros de animales de raza Retinta criados en los tres modelos de producción propuestos. Así, todos los parámetros decrecieron durante los 21 días de maduración y se observó un descenso significativo ($p \leq 0,05$) entre los días T₀-T₇ y T₇-T₁₄ de la fuerza máxima y el trabajo total. A partir de este momento estos parámetros no mostraron diferencias significativas y alcanzaron su valor máximo a los 14 días de maduración. Además, la carne presentó diferencias significativas de firmeza entre los días T₀-T₇ y T₇-T₂₁. Según lo observado en estudios previos, el descenso en los valores medidos mediante el análisis WB de la fuerza de corte a lo largo de la maduración de la carne de ternera era esperado (Golze, 2001; Revilla y Vivar-Quintana, 2006). La evolución de los valores de fuerza máxima durante la maduración de la carne de los animales de este estudio está de acuerdo con lo observado por Sañudo *et al.* (2004), que encontraron un aumento progresivo de la terneza de la carne hasta los 16 días de maduración y que se mantuvo hasta los 23 días. También Wulf *et al.* (1996) y Campo *et al.* (2000) observaron que periodos prolongados de maduración tienden a estabilizar el proceso de ablandamiento de la carne. Estas mejoras obtenidas en los parámetros de terneza de la carne tienen que ver con un aumento de la fragmentación de las proteínas miofibrilares debido a la actividad de las enzimas proteolíticas endógenas y exógenas del músculo (Jayasooriya *et al.*, 2007; Barekat y Soltanizadeh, 2017).

Se ha observado un efecto significativo de la interacción del sistema de producción y el tiempo de maduración de la carne de terneros de raza Retinta en todos los parámetros estudiados mediante el análisis WB (fuerza máxima, firmeza y trabajo total) ($p \leq 0,001$; tabla 18). La figura 28 muestra los diferentes patrones de ablandamiento (evolución de la fuerza máxima a lo largo de la maduración) entre la carne procedente de animales criados bajo sistemas de producción ecológica (EP y EC) y la carne de animales criados bajo el sistema de producción convencional (CC) durante la maduración.



ns: no significativo; ^{a,b}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 28. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre fuerza máxima (kg) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

La reducción en la fuerza máxima a los 21 días de maduración ha sido expresada como el porcentaje de la reducción en la fuerza máxima con respecto al valor inicial. El valor total de reducción de fuerza máxima medido a los 21 días de maduración con respecto al valor inicial de fuerza ha sido del 51% para EP, el 49% para EC y el 52% para CC. Aunque la carne en los tres sistemas de producción mostró una reducción similar en la fuerza máxima al final del periodo de maduración estudiado, se observaron diferencias en el patrón de ablandamiento. Así, el ablandamiento de la carne de los modelos EC y CC siguió un patrón similar, mientras que la carne EP mostró un patrón diferente. En la figura 28 se observa que la carne producida en el modelo de producción ecológica basado en el pastoreo, aunque inicialmente fue la más dura, presentó un proceso de ablandamiento más rápido durante los primeros 7 días de maduración (expresado

gráficamente como una mayor pendiente) que la carne de animales criados bajo los otros dos sistemas de producción basados en el alimento concentrado y limitación de espacio (EC y CC). Tras 7 días de maduración, la carne ecológica EP había reducido su dureza en un 25% del valor final de ablandamiento (T_{21}). Resultados similares fueron encontrados por Accioli *et al.* (1995), Golze (2001) y Florek *et al.* (2015), quienes observaron un progresivo ablandamiento de la carne, especialmente en el inicio del proceso de maduración. Otros autores han descrito que periodos prolongados de maduración reducen las diferencias encontradas en la dureza de la carne observadas al inicio del proceso de la maduración, independientemente del tipo de raza, sistema de alimentación o peso de sacrificio, dando lugar a productos finalmente homogéneos (Monsón *et al.*, 2004; Sañudo *et al.*, 2004).

La diferente evolución de los valores de fuerza máxima de corte entre los sistemas de producción estudiados puede ser explicada por la disponibilidad de espacio donde se ejercitan los animales, independientemente de que el sistema de producción sea ecológico o convencional. Los sistemas extensivos de producción conllevan diferencias en el ganado en comparación con los sistemas intensivos, tanto en términos de disponibilidad para el ejercicio físico, engorde o en el desarrollo de las fibras musculares, lo que afecta a las propiedades estructurales del músculo (Lefaucheur y Gerrard, 2000). Por ello, puede considerarse que las diferencias encontradas en la dureza de la carne entre los diferentes sistemas de producción se deban fundamentalmente a la disponibilidad de espacio para el ejercicio de los animales más que al hecho de que el sistema de producción sea ecológico o convencional.

7.4.3.2. Análisis del perfil de textura (TPA20).

Mientras que el análisis de WB es el método que simula el efecto de los dientes incisivos al morder la carne, el TPA simula el esfuerzo de la mandíbula al masticar mediante los molares y premolares. Así, empleando valores bajos de tasas de compresión (20%) de las muestras es posible determinar el comportamiento de la estructura miofibrilar sin la intervención de tejido conectivo (Lepetit y Culioli, 1994).

A diferencia del método WB, el método TPA permite analizar otros parámetros texturales además de la dureza, tales como la elasticidad, la masticabilidad, la resiliencia o la cohesividad de la carne entre otros (Ruiz de Huidobro *et al.*, 2005). Los parámetros

de compresión obtenidos con TPA20 han sido utilizados por muchos autores para evaluar eficazmente las propiedades reológicas de los productos cárnicos, pero hay poca información sobre su aplicación en carne cruda y carne cocinada (Sañudo *et al.*, 2004; Caine *et al.*, 2003; Ruiz de Huidobro *et al.*, 2005).

El efecto de los sistemas de producción sobre los parámetros de TPA20 de la carne de terneros de raza Retinta se muestra en la tabla 19. Se observó un efecto significativo ($p \leq 0,001$) del sistema de producción en la masticabilidad, resiliencia y cohesividad de la carne de los terneros de raza Retinta criados bajo dos modelos de producción ecológica (EP y EC) y el sistema de producción convencional (CC).

Tabla 19. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros del Análisis de Perfil de Textura (TPA20) de la carne de los terneros de raza Retinta.

	Sistema de producción			Tiempo de maduración (días)				Significación			
	EP	EC	CC	0	7	14	21	EEM	SP	TM	SP*TM
TPA20 (20% de compresión)											
Elasticidad (m)	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02	0.003	ns	ns	ns
Masticabilidad ($\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	0,27 ^a	0,20 ^b	0,22 ^b	0.21	0.22	0.23	0.24	0.005	***	ns	***
Resiliencia (adimensional)	0,43 ^a	0,41 ^b	0,40 ^b	0.41	0.42	0.41	0.41	0.003	***	ns	***
Cohesividad (adimensional)	0,66 ^a	0,62 ^b	0,62 ^b	0.64	0.64	0.63	0.63	0.003	***	ns	***

ns: no significativo, ***: $p \leq 0,001$; ^{a,b}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media; SP: Sistema de producción, TM: Tiempo de maduración, SP*TM: interacción entre SP y TM.

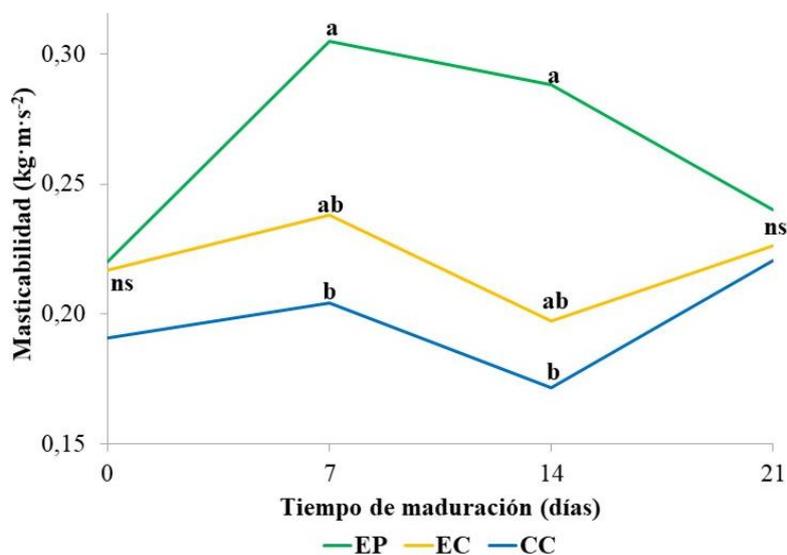
La carne procedente de los animales criados bajo el modelo ecológico basado en el pastoreo (EP) requirió mayor cantidad de energía para ser masticada e ingerida (mayor masticabilidad), mayor capacidad para recuperar su forma inicial tras ser masticada (mayor resiliencia) y enlaces internos más fuertes (mayor cohesividad) que la carne que proviene de los modelos EC y CC. Con ello, se podría decir que de los animales ecológicos criados en pastoreo dieron lugar a una carne que necesita un proceso de masticación más prolongado para ser deglutida. Este hecho puede estar relacionado con la mayor disponibilidad de movimiento que han tenido los animales criados en pastoreo (EP) con respecto a los terneros criados en los sistemas con menos espacio disponible (EC y CC) que dará lugar a diferencias en las estructuras de las fibras musculares (Aalhus *et al.*, 1991; Lepetit y Culioli, 1994; Tejerina *et al.*, 2012b). En general, las propiedades reológicas de la carne fresca están directamente relacionada con las características de la

fibra muscular que a su vez se caracterizan por sus propiedades morfológicas y propiedades contráctiles y metabólicas (Lee *et al.*, 2010). Las propiedades contráctiles y metabólicas del músculo se diferencian por los tipos de fibra muscular y, por lo tanto, la textura de la carne está fuertemente relacionada con la composición del tipo de fibra en el músculo. De acuerdo con Dingboom y Weijs (2004), los músculos bovinos que albergan un mayor porcentaje de fibras de tipo I dieron lugar a carne más dura que los músculos con un mayor porcentaje de fibra tipo II. En general, cabría pensar una vez más en la posibilidad de que el músculo de los animales ecológicos con libertad de movimiento presenta mayor cantidad de fibra de tipo I. No obstante, la mayoría de los músculos tienen una mezcla de ambos tipos de fibras junto con una proporción sustancial de fibras intermedias que permitirá a los animales mayor flexibilidad para adaptarse a estímulos ambientales particulares o para una mayor demanda de ejercicio (Aalhus *et al.*, 2009).

El efecto de la maduración sobre las variables reológicas estudiadas mediante el TPA20 (elasticidad, masticabilidad, resiliencia y cohesividad) en la carne de terneros de raza Retinta en los tres modelos de producción se muestra en la tabla 19. Aunque estudios previos mostraron un descenso en estos parámetros con el transcurso de los días durante la maduración de la carne bovina (Palka, 2003), en el presente estudio no se encontró un efecto significativo del tiempo de maduración de la carne en los parámetros estudiados ($p > 0,05$). En general, la evolución encontrada en los parámetros de TPA20 fue muy variable. La carne de los animales obtenida del modelo ecológico basado en el pastoreo mostró un patrón de evolución diferente en la masticabilidad (figura 29), resiliencia (figura 30) y cohesividad (figura 31) al observado en la carne procedente de los sistemas de producción más intensivos (EC y CC).

En la figura 29 se muestra la evolución de la masticabilidad de la carne de terneros de raza Retinta en los modelos de producción ecológica (EP y EC) y en el modelo de producción convencional (CC) a lo largo de los 21 días de maduración. Se observaron diferencias significativas en los valores de masticabilidad entre las muestras estudiadas a lo largo del periodo de maduración. A los 7 y 14 días de maduración (T_7 y T_{14} , respectivamente) la carne EP presentó mayor valor de masticabilidad que la carne CC. Sin embargo, estas diferencias no se apreciaron ni al inicio (T_0) ni al final del tratamiento (T_{21}) donde no se encontraron diferencias significativas entre los tres sistemas estudiados.

Según detallan Singh *et al.* (2013) la masticabilidad está relacionada con el contenido de humedad de la carne debido a un aumento de la plasticidad en la matriz proteica. En el presente estudio, el grupo de animales EP fue el que mostró mayor contenido en humedad (tabla 13) y a la vez mayores valores de masticabilidad. Puesto que la cantidad de agua y proteína están relacionadas (Hamm, 1963), a la vez que el contenido en proteína total de la carne está influido por el ejercicio que han llevado a cabo los animales, cabría pensar que los resultados obtenidos respecto a la masticabilidad de la carne son debidos al ejercicio físico realizado por los animales ecológicos criados a base de pasto con mayor libertad de movimiento, independientemente del tipo de alimento recibido.

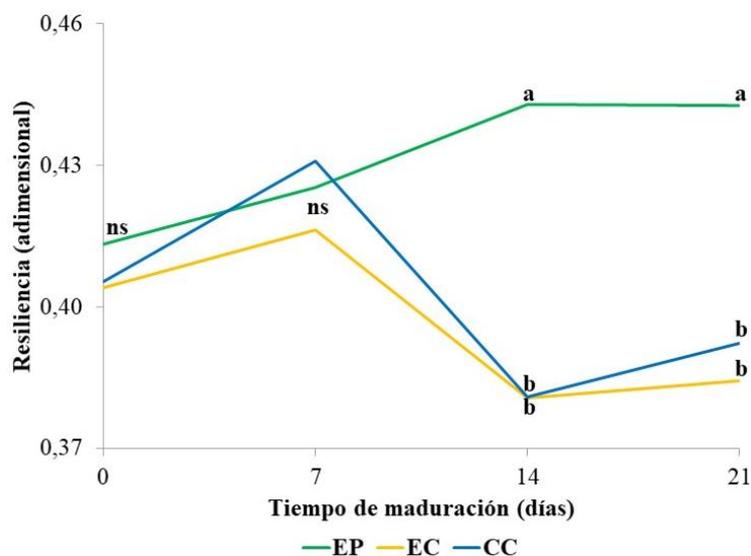


ns: no significativo; a,b: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 29. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la masticabilidad ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) (TPA20) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

La evolución de la resiliencia durante la maduración de la carne de los terneros de raza Retinta de los diferentes sistemas estudiados (EP, EC y CC) se presenta en la figura 30. Aunque al inicio de la maduración (T_0 y T_7) no se encontraron diferencias significativas en este parámetro entre los sistemas de producción estudiados, la carne de los animales criados en el sistema ecológico basado en el pastoreo (EP) mostró mayor resiliencia a partir del día 14 de maduración que la carne obtenida de animales criados en el modelo ecológico o convencional a base de concentrado. Esta diferencia se mantiene hasta el final de la maduración a los 21 días (T_{21}).

La mayor capacidad que presenta la carne ecológica EP para volver a su forma inicial tras ser sometida a una fuerza externa (masticación mediante los molares y premolares) podría estar relacionada con las características morfológicas particulares que presentan los músculos de los animales EP que han tenido mayor grado de ejercicio físico durante el pastoreo.



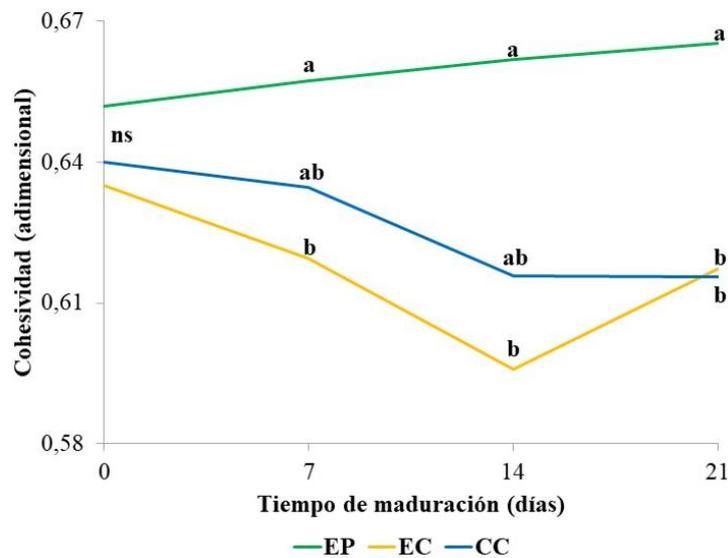
ns: no significativo; a,b: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 30. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la resiliencia (adimensional) (TPA20) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

Por último, en la figura 31 se muestran los resultados obtenidos de cohesividad durante la maduración de la carne de los terneros de raza Retinta criados en los diferentes sistemas de producción estudiados (EP, EC y CC). A partir del séptimo día de maduración, la carne obtenida del modelo EP presentó mayor cohesividad que la carne procedente de los sistemas de producción EC y CC. La carne de estos dos modelos de producción basados en el aporte de alimento concentrado y reducido espacio para el ejercicio mostró un patrón de evolución de cohesividad similar durante los 21 días de maduración.

Aunque cabría esperar que con el proceso de la maduración la fuerza interna que mantiene unidos los encajes de las proteínas de la carne debería disminuir debido a la degradación de las proteínas musculares esta observación no se presenta en la carne del modelo EP. Esto podría ser debido a que las uniones intermoleculares de las proteínas del músculo LD de los terneros que han tenido mayor disponibilidad de espacio, y por tanto,

han estado más ejercitados podría ser más fuertes que las que presenta la carne de los animales que han visto limitada su área para el ejercicio.



ns: no significativo; a,b: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey entre los sistemas de producción.

Figura 31. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la cohesividad (adimensional) (TPA20) en la maduración (durante 0, 7, 14 y 21 días) de la carne de los terneros de raza Retinta.

7.4.4. Análisis histológico de las fibras musculares.

En la tabla 20 se muestran las características histológicas de las fibras musculares (longitud de los sarcómeros y área de las fibras musculares) de la carne de los terneros de raza Retinta de los tres sistemas de producción estudiados (EP, EC y CC) durante 21 días de maduración. Los valores obtenidos están dentro del rango observado por otros autores en los músculos bovinos (2,2 μm ; Herring *et al.*, 1967).

7.4.4.1. Longitud de los sarcómeros.

En la tabla 20 se muestra el efecto del sistema de producción (EP, EC y CC) sobre la longitud del sarcómero de las muestras de carne de los terneros de raza Retinta. Se observó un efecto significativo del sistema de producción en la longitud del sarcómero ($p \leq 0,001$). Así, las fibras musculares de la carne procedentes de los animales del modelo de producción EP mostraron menos longitud de sarcómero que de la carne obtenida de los sistemas basados en el aporte de alimento concentrado y disponibilidad de espacio para el ejercicio más limitado (EC y CC).

Tabla 20. Efecto del sistema de producción (EP=Ecológico de pasto, EC=Ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) y de la maduración de la carne (durante 0, 7, 14 y 21 días) sobre los parámetros histológicos de las fibras musculares (longitud de los sarcómeros y área de las fibras musculares) de la carne de los terneros de raza Retinta.

	Sistema de producción			Tiempo de maduración (días)				EEM	Significación		
	EP	EC	CC	0	7	14	21		SP	TM	SP*TM
Longitud sarcómero (μm)	2,31 ^b	2,89 ^a	2,98 ^a	1,92 ^d	2,14 ^c	3,02 ^b	3,40 ^a	0,026	***	***	***
Área fibra muscular (μm^2)	1.291 ^a	1.177 ^b	921 ^c	1.217 ^a	1.108 ^b	1.035 ^{bc}	978 ^c	13,5	***	***	***

***: $p \leq 0,001$; ^{a,b,c,d}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media; SP: Sistema de producción, TM: Tiempo de maduración, SP*TM: interacción entre SP y TM.

En la figura 32 se muestra una imagen tomada al microscopio (modelo Eclipse 50i) (x100) con contraste de fases de una fibra muscular del músculo *Longissimus dorsi* de un ternero de raza Retinta.

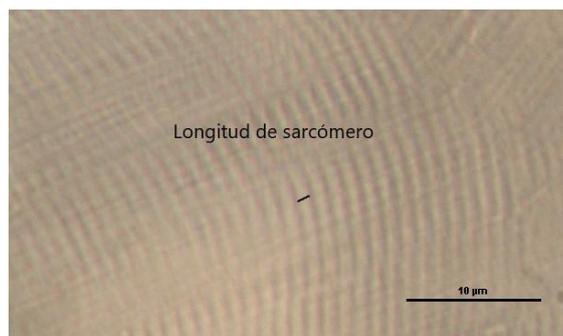


Figura 32. Fotografía al microscopio (modelo Eclipse 50i) (x100) con contraste de fases de una fibra muscular de carne de un ternero de raza Retinta criado en el sistema de producción ecológico de Pasto (EP).

La relación de la longitud del sarcómero con la textura de la carne ha sido ampliamente investigada (Hopkins y Thompson, 2001; Rhee *et al.*, 2004; Hopkins *et al.*, 2011). Estudios previos han informado que existe una correlación negativa entre la longitud de los sarcómeros y la dureza instrumental de la carne (Rhee *et al.*, 2004; Starkey *et al.*, 2016). En el presente estudio, también se ha observado una correlación negativa ($r = -0,355$; $p \leq 0,001$) (datos no mostrados) entre la fuerza máxima y la longitud de los sarcómeros. Así, la carne del sistema de producción EP presentó los sarcómeros de menor longitud a la vez que con mayor resistencia al corte de todos los sistemas de producción propuestos.

Con respecto al efecto de la maduración de la carne del presente estudio sobre la longitud de los sarcómeros, en la tabla 20 se presentan los resultados obtenidos en la evolución de la longitud del sarcómero en las muestras de carne de los tres sistemas de producción estudiadas (EP, EC y CC) durante los 21 días de maduración. Se ha observado un aumento significativo en la longitud del sarcómero durante los 21 días de maduración de la carne ($p \leq 0,001$) con un incremento total de 1,48 μm desde el inicio (T_0) hasta el final del proceso (T_{21}). El mayor alargamiento del sarcómero se observó entre los días 7 y 14 de la maduración (un aumento del 6% y el 32%, respectivamente del total de alargamiento encontrado al final de los 21 días de maduración). Estos resultados coinciden con los propuestos por Viera y Fernández (2014) y Ertbjerg y Puolanne (2017), quienes informaron acerca de que la longitud de los sarcómeros aumenta con el almacenamiento *post-mortem* de la carne durante la maduración. También Rhee *et al.* (2004) observaron un descenso de la dureza del musculo *Longissimus* en carne de bovino madurado durante 14 días. En base a este hallazgo, es interesante resaltar que en el presente trabajo se ha observado que a medida que la longitud del sarcómero aumenta (tabla 20) la fuerza máxima disminuye (tabla 18). Los mayores cambios observados en el aumento de la longitud de los sarcómeros a T_7 y T_{14} están relacionados con los importantes cambios observados en los parámetros de textura en esos mismos días de maduración (tabla 18).

7.4.4.2. Área de las fibras musculares.

Otro aspecto morfológico determinante de la calidad de la carne es el área de las fibras musculares (Joo *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos sobre el área de las fibras musculares de la carne fresca procedente de terneros de raza Retinta del presente estudio se muestran en la tabla 20. Se ha observado un efecto significativo de los diferentes sistemas de producción propuestos (EP, EC y CC) ($p \leq 0,001$). El área de fibra muscular más elevado se ha observado en la carne de los animales del modelo EP. Según detallan Renand *et al.* (2001), Zochowska *et al.* (2005) y Guillemain *et al.* (2011) los músculos con mayor área de fibra muscular exhiben una carne más dura. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos en la dureza de la carne de producción ecológica de los animales criados en pastoreo (mayor fuerza máxima; tabla 18). Puede por ello apuntarse la idea también propuesta por Vestergaard *et al.* (2000) y Pette y Staron (2001) de que las características histológicas de la carne están íntimamente relacionadas con el grado de ejercicio que han realizado los animales.

La evolución del área de las fibras musculares durante los 21 días de maduración de la carne de terneros de raza Retinta obtenido de los tres modelos de producción (EP, EC y CC) se muestran en la tabla 20. Durante los 21 días de maduración se observó una reducción de alrededor del 20% en la medición del área de las fibras musculares durante este periodo de maduración, presentándose la mayor disminución entre los días T₀ y T₇. La influencia de las características de la fibra muscular durante la maduración de la carne es un aspecto importante a tener en cuenta. Esta evolución se puede relacionar con la evolución encontrada en la fuerza máxima que se vio disminuida en los primeros días de maduración de la carne (tabla 18).

7.5. Conclusiones.

Los terneros procedentes de un sistema de producción convencional muestran un comportamiento reológico diferente de la carne procedente de sistemas de producción ecológicos, principalmente cuando el modelo de producción ecológico está asociado con el pastoreo de los animales. La posibilidad de los animales de hacer ejercicio tiene gran influencia sobre las propiedades reológicas de la carne. Este hecho es independiente de si el sistema de producción es ecológico o convencional. Debido a la importancia que la textura tiene en la calidad de carne de ternera, es necesario conocer y tener en cuenta el comportamiento y las características de la carne durante la maduración. Independientemente de si el sistema de producción es ecológico o convencional, desde el punto de vista reológico las mejores propiedades de textura en la carne de terneros de la raza Retinta se obtienen con al menos 14 días de maduración. Sin embargo, periodos de maduración más prolongados no añaden una mejora en la terneza de la carne y sí podría contribuir a un incremento del coste de producción de la carne. Aunque la carne de producción ecológica asociada a los sistemas de producción basados en el pastoreo presenta inicialmente menos terneza, esta carne muestra mayor velocidad en el ablandamiento que la carne procedente de animales criados en sistemas ecológicos o convencionales basados en el uso de alimento concentrado y espacio para el ejercicio de los animales más limitado.

Capítulo 8.

Las propiedades sensoriales de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica

8. Las propiedades sensoriales de la carne de terneros de raza Retinta en dos modelos de producción ecológica.

8.1. Resumen.

En este capítulo se ha estudiado el efecto de dos sistemas de producción ecológica (con alimentación a base de pasto, EP, y alimentación con concentrado ecológico, EC) sobre las características sensoriales (color, olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global) de la carne de terneros de raza Retinta a los 7 días de maduración. Los mismos atributos se han comparado sensorialmente con los procedentes de la carne de terneros de raza Retinta criados de forma convencional (CC). La valoración sensorial se llevó a cabo mediante un panel de catadores entrenados y a partir de un estudio de consumidores. Los resultados obtenidos muestran que existe una influencia del modelo de producción sobre las características sensoriales de la carne. Los panelistas entrenados dieron la mayor puntuación a la terneza, la jugosidad y la apreciación global de la carne cocinada de los terneros procedentes del sistema EC. Para estos mismos atributos, los panelistas entrenados no apreciaron diferencias significativas en las carnes procedentes de los sistemas EP y CC. De otra parte, los consumidores dieron puntuaciones más bajas a los atributos sensoriales valorados en la carne cocinada de los animales alimentados en base a pasto (EP), no encontrando diferencias significativas de apreciación de la carne entre los sistemas basados en el aporte de alimento concentrado (EC y CC). Siguiendo con el estudio de consumidores, éstos valoraron significativamente más favorable el color de la carne fresca de los animales de los sistemas EP y CC que la obtenida a partir del modelo de producción ecológica basado en el uso de alimento concentrado (EC). Este hecho, resulta muy interesante puesto que el color es el primer atributo que ayuda a elegir la carne en el momento de la compra y éste puede ser un motivo que justifique la posibilidad de la conversión de las explotaciones del modelo convencional al modelo de producción ecológica basado en el pastoreo.

8.2. Introducción.

El análisis sensorial es la disciplina científica utilizada para medir, analizar e interpretar reacciones ante aquellas características de alimentos y materiales percibidas por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído. En el caso de la carne, los principales componentes sensoriales que se suelen evaluar son el color, el olor y el

sabor, la ternura, la jugosidad o la apreciación global (Serra *et al.*, 2008; Font i Furnols *et al.*, 2009).

A pesar de que actualmente existen numerosos métodos analíticos de laboratorio que permiten medir con precisión diversos parámetros que definen la calidad de los alimentos, cada vez se tiene más en cuenta que sólo los juicios humanos pueden integrar todas las sensaciones sensoriales que va a percibir el consumidor (Oliván y Guerrero, 2002). Esto es así debido a que los métodos instrumentales dan información aislada acerca de los diferentes constituyentes de los alimentos, pero no ofrecen información acerca de cómo éstos interaccionan entre sí para conformar un producto cuyas características harán que el consumidor lo acepte, lo rechace o lo prefiera ante otro producto. La evaluación sensorial se comenzó a considerar de importancia a finales de los años 40. Fue a mediados de los años 50 cuando diversas universidades de los Estados Unidos de América comenzaron a ofrecer cursos sobre análisis sensorial para aportar información acerca de las cualidades de los alimentos. Este desarrollo se ha visto reflejado en la literatura científica de ese periodo, generando entre otros, estudios muy interesantes como los de Boggs y Henson (1949), Giradot *et al.* (1952) o Pangborn (1964) que estimularon y facilitaron el uso de la evaluación sensorial en la industria de la alimentación.

A día de hoy, el análisis sensorial constituye una poderosa herramienta en los departamentos de I+D de la industria alimentaria que se emplea en las estrategias de marketing (Pangborn, 1980). Por otra parte, la sociedad, y concretamente las asociaciones de consumidores cada vez vienen exigiendo normativas y sistemas que aseguren la calidad de los productos que se ofrecen al consumidor. Todo esto justifica la necesidad de la evaluación sensorial en la industria alimentaria moderna y en los estudios científicos para evaluar la calidad de los productos, que permite medir en el laboratorio el grado de satisfacción que brindará el alimento y así poder anticipar la aceptabilidad que éste tendrá en el mercado. En este sentido, Sañudo (1992) indicó que el análisis sensorial es el método más adecuado, completo y reproducible para estudiar las características de un producto destinado al consumo humano como es la carne.

La evaluación sensorial se fundamenta en base a paneles de jueces-catadores que hacen uso de sus sentidos como herramienta de trabajo. Los catadores o jueces, se seleccionan con el fin de lograr la máxima veracidad, sensibilidad y reproducibilidad en las valoraciones que emitan, ya que de esto dependerá el éxito y la fiabilidad de los

resultados. Por ello, será imprescindible cumplir rigurosamente determinadas pautas de actuación, que se conseguirán mediante un control riguroso de los métodos y condiciones de las pruebas, la aplicación de un diseño experimental correcto y evitando al máximo aquellas fuentes de variación o error que interfieran en la obtención de información precisa y reproducible (Guerrero y Guardia, 1998).

Las características sensoriales de la carne pueden ser evaluadas mediante paneles de catadores expertos (o entrenados) y estudios de consumidores. Un panel de catadores entrenados está formado por un conjunto de personas con cualidades perceptivas adecuadas, que han sido sometidas a una selección y entrenamiento riguroso previo con el fin de que sean capaces de emitir juicios objetivos y fiables acerca de un determinado producto. Diversos estudios señalan que el correcto desarrollo de las pruebas sensoriales requiere de un número determinado de evaluadores, estableciendo como óptima la valoración de al menos siete evaluadores, y como máximo quince. Normalmente esta técnica se emplea para pruebas descriptivas y discriminatorias complejas. De otra parte, un estudio de consumidores consiste en un análisis realizado por personas que no tienen nada que ver con las pruebas a valorar, ni han hecho evaluaciones sensoriales previas de entrenamiento. Los participantes de estas pruebas son elegidos al azar y suelen emplearse en pruebas afectivas (Costell y Durán, 1981).

Para el desarrollo de este tipo de pruebas es importante que los participantes sean consumidores habituales del producto a valorar o, en el caso de un producto nuevo, que sean potenciales consumidores del mismo (Anzaldúa-Morales, 1994). De acuerdo a las recomendaciones de Larmond (1977) o Anzaldúa-Morales *et al.* (1983), dependiendo del tipo de producto y prueba, el número de participantes necesario para realizar las pruebas de consumidores es mayor que en el caso de las pruebas de panelistas entrenados, superando los 30. Entre los requisitos para una evaluación de consumidores se precisa que los participantes presenten determinadas características sociológicas y de consumo previamente establecidas que sean representativas de cada uno de los segmentos de la población a estudiar.

En los últimos años ha habido una gran demanda de productos ecológicos en el mercado (MAPAMA, 2018) bien diferenciados por su etiqueta de ecológico y que son garantía para los consumidores. Pero resulta de esencial importancia determinar los atributos sensoriales de la carne proveniente de animales de producción ecológica que

pueden aportar características diferenciadoras desde el punto de vista sensorial y mejorar el conocimiento de este producto que se encuentra en crecimiento continuo. Esta información puede contribuir a reforzar la diferenciación con otras carnes, por ejemplo, las obtenidas de la producción convencional. En este contexto, existen cada vez más iniciativas de investigación de análisis sensorial de carne bovina que estudian la búsqueda y experiencia de los consumidores en este sector (Umberger *et al.*, 2002; Sitz *et al.*, 2005; Lin 2013; Lee y Yun, 2015). Para algunos consumidores el perfil de sabor de un filete es un criterio fundamental en la aceptación sensorial global de la carne (Neely *et al.*, 1998). Puede por ello considerarse que, si el grado de terneza se encuentra dentro de un rango aceptable, el sabor se convierte en el parámetro más determinante del grado de satisfacción del consumidor (Killinger *et al.*, 2004b).

Con el fin de aportar información integral de la calidad, junto con una información de las expectativas de aceptabilidad por parte de los consumidores, el objetivo de este capítulo ha sido analizar las características sensoriales de la carne de los terneros de raza Retinta a los 7 días de maduración mediante pruebas de panelistas entrenados y de consumidores. Esta carne fue obtenida a partir de dos modelos ecológicos de producción (basado en el pastoreo y en el aporte de alimento concentrado) y carne procedente de terneros obtenida de acuerdo a un sistema de producción convencional basado en el aporte de alimento concentrado convencional y forraje en pesebre.

8.3. Material y métodos.

La descripción de los animales en estudio y la recogida de muestras han sido previamente presentadas en el capítulo general de material, métodos y diseño experimental (capítulo 4). Para la valoración sensorial de la carne de los terneros de raza Retinta de este estudio se han utilizado 45 muestras del músculo *Longissimus dorsi* (LD) distribuidas de la siguiente manera:

- 15 muestras del modelo de producción en pastoreo (EP).
- 15 muestras del modelo de producción ecológica en cebadero (EC).
- 15 muestras del modelo de producción convencional en cebadero (CC).

Las muestras en evaluación fueron las correspondientes al tiempo de maduración de 7 días (T₇). Un detalle del diseño experimental para el análisis sensorial de la carne de los terneros de raza Retinta se presenta en la figura 33.

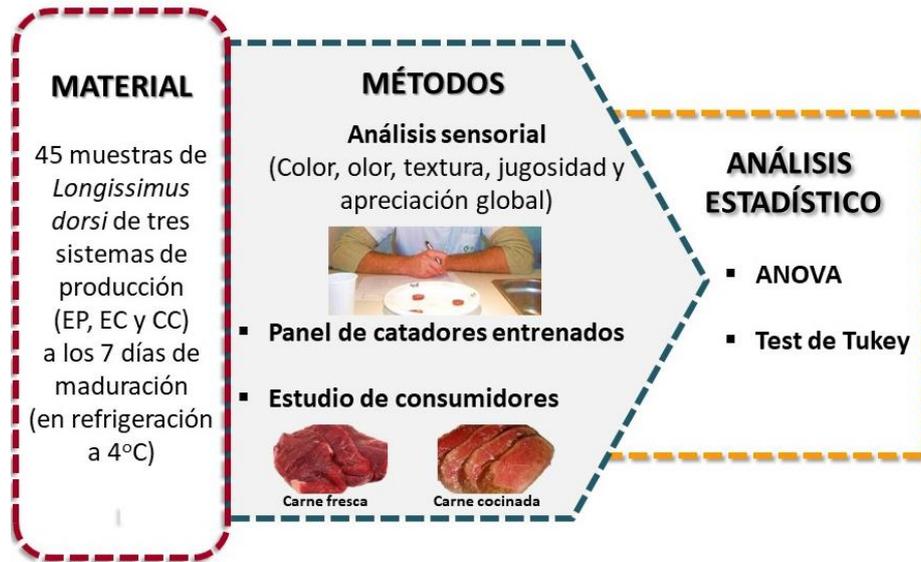


Figura 33. Esquema del material y métodos para la evaluación de parámetros relacionados con las propiedades sensoriales de la carne fresca y cocinada de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC).

El análisis sensorial (panel de catadores entrenados y estudio de consumidores) se llevó a cabo entre los meses de febrero y mayo de 2014 en el laboratorio homologado (ISO 8589, 2007) perteneciente al Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura (INTAEX) (Badajoz). El laboratorio contaba con cabinas individuales equipadas con luz fluorescente blanca (Osram, 220-230 V, 35 W), y separadas de la zona de preparación de muestras para evitar la influencia de determinados factores, especialmente el olor del cocinado.

8.3.1. Preparación de las muestras.

Las muestras del músculo LD fueron descongeladas en refrigeración ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) durante 24 h. El cocinado de las mismas, tanto en el panel de catadores entrenados como en el estudio de consumidores, se llevó a cabo mediante el método descrito por Guerrero (2000). Para ello se usaron filetes de 2,5 cm de espesor aproximadamente, que fueron sometidos a una cocción sobre una plancha caliente (Jata GR206, Potencia 1800 W) a 150°C durante 6 minutos hasta alcanzar el centro de las mismas una temperatura de 75°C que fue medida con un termómetro portátil T200 (Digitron Instrumentation Ltd., Merdlane, Hertford, UK). Después del cocinado se obtuvieron muestras rectangulares del centro del filete de aproximadamente $3\cdot 2$ cm y se dispusieron inmediatamente en un plato caliente para mantener la temperatura de las muestras que fueron codificadas con tres dígitos elegidos al azar. Cada panelista que participó en el análisis sensorial evaluó un

total de 3 muestras de carne, distribuidas aleatoriamente. En cada cabina se colocó un cuestionario (figuras 34 y 36), utensilios de plástico, limpiadores de paladar (vaso con agua y pan), un vaso adicional para desechar las muestras evaluadas y servilletas.

8.3.2. Panel de catadores entrenados.

El panel de catadores entrenados se llevó a cabo siguiendo el protocolo descrito por la AENOR (1996). Dicho panel estuvo formado por 20 jueces pertenecientes al INTAEX, de los cuales 12 eran mujeres (de $37 \pm 11,4$ años) y 8 eran hombres (de $45 \pm 8,7$ años). Este panel (consolidado mediante reclutamiento, selección y entrenamiento, según la UNE 87024-1, 1995) había sido creado para ser utilizado en proyectos de investigación anteriores como herramienta para el análisis de calidad sensorial de muestras de carne de bovino y otras especies de abasto, como porcino y ovino. Por ello, no fue preciso hacer selección y entrenamiento previo de los jueces. Todos los participantes contaban con los conocimientos necesarios de las técnicas utilizadas en el análisis sensorial y estaban familiarizados con la evaluación de los parámetros fundamentales referentes a la calidad de la carne fresca y cocinada. No obstante, previo a las sesiones de cata, se llevaron a cabo pruebas de memoria sensorial mediante las que los catadores mostraron conocer perfectamente los atributos a valorar, cómo valorarlos y demostraron tener memorizada la escala de puntuación a utilizar. Para ello fueron necesarias dos sesiones de aproximadamente una hora de duración cada una, que se llevaron a cabo durante dos semanas consecutivas en las mismas instalaciones donde posteriormente se realizarían las pruebas sensoriales.

El estudio se llevó a cabo en tres sesiones de cata (una por semana, durante tres semanas consecutivas). Las diferentes sesiones sensoriales se realizaron a las cinco horas después del desayuno de los jueces, comenzando cada prueba a las 13:00 h.

Sobre la base de los estudios previos realizados por distintos autores para la valoración de las características sensoriales de la carne cocinada de diferentes razas de ganado bovino (Stone y Sidel, 2004; Franco *et al.*, 2008; Beriain *et al.*, 2009) se elaboró una ficha de valoración con las características a evaluar con una escala estructurada de 10 puntos para cada atributo en un rango de menor a mayor intensidad (figura 34). Esta ficha de valoración fue entregada a cada juez a la hora de realizar la prueba sensorial. Los

atributos sensoriales, definiciones y extremos a valorar fueron explicados y presentados a cada juez de acuerdo a lo recogido en la tabla 21.

Tabla 21. Definición y extremos de los atributos sensoriales de la carne de ternera, en fresco y cocinada, empleada en el panel de catadores entrenados.

Atributos sensoriales	Valoración
Color	Intensidad del color típico de la carne de ternera fresca (0=muy poco color; 10=mucho color).
Olor	Intensidad del olor típico de carne de ternera cocinada (0=muy poco olor; 10=mucho olor).
Terneza	Facilidad para comprimir la carne entre los dientes frontales y provocar cierto grado de deformación (0= muy poco tierno; 10=muy tierno).
Jugosidad	Sensación de lubricación durante la masticación (0=no jugoso; 10=muy jugoso).
Sabor	Intensidad del sabor típico de carne de ternera cocinada (0=muy poco sabor; 10=mucho sabor).
Apreciación global	Intensidad de satisfacción de las cinco variables sensoriales anteriormente mencionadas (0=muy poca satisfacción; 10=muy buena satisfacción).

Los filetes fueron cocinados según se ha descrito en el apartado 8.3.1, y servidos a los jueces inmediatamente después para mantener la temperatura. A cada juez se le proporcionó una porción de filete uniforme y libre de tejido conectivo y vetas de grasa de aproximadamente 15 g. Cada porción fue codificada con dos letras y 3 cifras. Tras un tiempo de evaluación de las muestras de aproximadamente 10 minutos, los jueces tuvieron 5 minutos de descanso que emplearon para limpiar su paladar mediante sorbos de agua e ingesta de pan. Sucesivamente, y siguiendo el mismo procedimiento, los jueces fueron recibiendo las muestras de carne restantes para su valoración. De esta manera cada juez evaluó tres submuestras por sesión, cada una de ellas procedente de uno de los sistemas de producción estudiados (EP, EC y CC).

Los consumidores acudían a la sala de catas donde se les explicaba únicamente que iban a valorar tres tipos de carne de ternera de raza Retinta, se les informaba sobre cómo realizar la cata, cómo valorar los atributos que se les solicitaba y cómo contestar a la encuesta.

Además de los atributos valorados en las pruebas realizadas con el panel de catadores entrenado (olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global) tras el cocinado de la carne según el método descrito por Guerrero (2000) y detallado en el apartado 8.3.1, los consumidores valoraron previamente el color de la carne en fresco. Para ello, las muestras nombradas bajo códigos de dos letras y 3 cifras fueron previamente expuestas a la oxigenación en contacto con el aire durante una hora (*blooming*) y colocadas sobre platos blancos (figura 35).

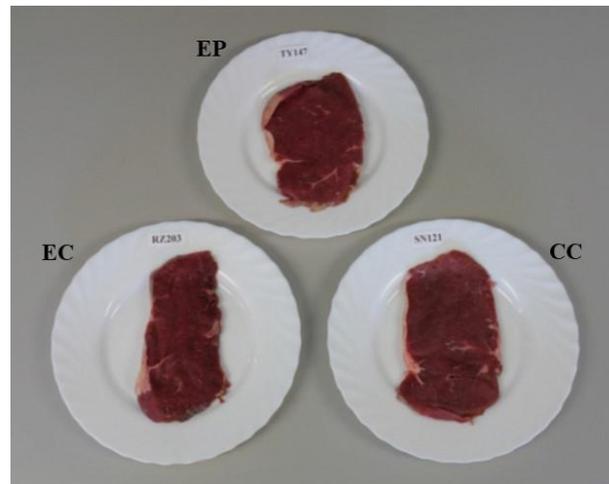


Figura 35. Estímulo utilizado para la evaluación del color de la carne en fresco de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC) en el estudio de consumidores.

Una vez que los consumidores ocuparon sus puestos, les fue entregado el cuestionario de la figura 36 y mostrados a la vez los tres filetes enteros, de 2,5cm de grosor aproximadamente, pertenecientes a los tres sistemas de producción (EP, EC y CC). El tiempo de presentación de estas muestras para la valoración del color en fresco fue de 5 minutos.

Después de cada sesión, se informó a los consumidores acerca del tipo de carne, tiempo de maduración y se les procuró detalles acerca de los diferentes sistemas tratados para la producción de la carne en evaluación (dieta, pautas de manejo o disponibilidad de espacio, entre otros).

Fecha y hora: _____	Cabina: _____
Edad: _____	Sexo: _____
Profesión: _____	

CUESTIONARIO PARA VALORAR LA ACEPTABILIDAD DE LA CARNE DE TERNEROS DE RAZA RETINTA

Puntúe de 1 a 10 con una X los siguientes atributos. Recuerde completar el número de la muestra (Código) que va a valorar:

CÓDIGO: _____

COLOR (carne cruda)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>									

Muy malo → Muy bueno

OLOR (carne cocinada)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>									

Muy malo → Muy bueno

TERNEZA (carne cocinada)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>									

Muy malo → Muy bueno

JUGOSIDAD (carne cocinada)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>									

Muy malo → Muy bueno

SABOR (carne cocinada)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>									

Muy malo → Muy bueno

APRECIACIÓN GLOBAL

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>									

Muy malo → Muy bueno

Figura 36. Cuestionario utilizado para valoración de la aceptabilidad de la carne fresca y cocinada de los terneros de raza Retinta en los sistemas de producción ecológico de pasto (EP), ecológico de cebo (EC) y cebo convencional (CC) en el estudio de consumidores.

A continuación, y de la misma manera que ha sido indicado en las pruebas de valoración con panel entrenado, cada consumidor valoró tres submuestras cocinadas uniformemente y libres de tejido conectivo y vetas de grasa de cada uno de los tres sistemas de producción. Estas muestras fueron suministradas a los consumidores secuencialmente de una en una, disponiendo de 10 minutos para la valoración de todos los atributos sensoriales de cada muestra y 5 minutos de descanso entre muestra y muestra que fueron empleados en limpiar el paladar con ayuda de agua y pan.

Los atributos sensoriales (color de la carne fresca, olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global de la carne cocinada) fueron evaluados mediante un test de aceptabilidad y una escala hedónica categórica de 10 puntos (figura 36) con rangos de 0 a 10, donde “0” se consideró como una muestra dura, sin jugosidad, de mal sabor y olor,

mientras que la puntuación “10” significó una muestra muy tierna, muy jugosa, de buen sabor y olor y de buena apreciación global. Al final de la sesión, a cada consumidor se entregó una encuesta para recoger información acerca de sus hábitos de consumo de diferentes tipos de carne, incluido el de carne ecológica (figura 37).

CUESTIONARIO DE HÁBITOS DE CONSUMO

1. ¿Con qué frecuencia consume usted carne de...?

Marcar con una X	Nunca	Al menos una vez al mes	Al menos una vez a la semana	Todos los días
Ternera				
Pollo				
Cerdo				
Cordero				
Otro (especificar cuál)				
Carne ecológica				

2. Según la especie animal, ¿qué piezas suele consumir?:

Especie	Pieza
Ternera	
Pollo	
Cerdo	
Cordero	
Otro (especificar cuál)	

3. ¿En qué se fija usted a la hora de comprar carne fresca?. Marcar con una X:

Color	Cantidad de grasa	Precio	Procedencia	Otros (especificar)

4. Ordene según la importancia que tienen para usted las siguientes cualidades en la carne. Para ordenarlos numere del 1 al 4 según importancia, de manera que el 1 sería el de mayor importancia y el 4 el de menor importancia.

Terneza	Color	Sabor	Olor

5. ¿Hay algún comentario que quiera añadir?:

Figura 37. Encuesta de hábitos de consumo de diferentes tipos de carne.

8.3.4. Análisis estadístico.

Para analizar el efecto de los diferentes sistemas de producción estudiados en los atributos sensoriales de la carne se realizó un análisis de la varianza con el programa estadístico SPSS v.19. En aquellas variables en las que el análisis de la varianza fue significativo se realizó un test *post-hoc* de Tukey, con un nivel de significación de $p \leq 0,05$.

8.4. Resultados y discusión.

8.4.1. Panel de catadores entrenados.

En la tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de los atributos sensoriales olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global de la carne cocinada de los terneros de raza Retinta (madurada durante 7 días) por un panel de catadores entrenados. Los resultados obtenidos indican que los sistemas de producción estudiados afectan significativamente a la terneza ($p \leq 0,001$), la jugosidad ($p \leq 0,05$) y la apreciación global ($p \leq 0,01$) de la carne de terneros de la raza Retinta.

Tabla 22. Efecto del sistema de producción (EP=ecológico de pasto, EC=ecológico de cebo y CC=Cebo convencional) sobre la valoración sensorial del olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días mediante un panel de catadores entrenados (escala de 10 puntos).

	EP	EC	CC	EEM	Significación
Olor	5,92	5,74	6,45	0,194	ns
Terneza	6,00 ^b	7,48 ^a	5,44 ^b	0,237	***
Jugosidad	6,33 ^{ab}	7,13 ^a	5,74 ^b	0,219	*
Sabor	6,67	6,66	6,49	0,175	ns
Apreciación global	6,55 ^b	7,72 ^a	6,13 ^b	0,193	**

ns: no significativo, *: $p \leq 0,05$, **: $p \leq 0,01$, ***: $p \leq 0,001$; ^{a, b}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media.

Los jueces no apreciaron diferencias sensoriales significativas en el olor y sabor de la carne estudiada de los diferentes modelos productivos. Estos resultados están de acuerdo con los encontrados por otros autores, que tampoco observaron diferencias significativas en el flavor (olor y sabor) de la carne procedente de terneros criados bajo sistemas de producción ecológico o convencional (Walshe et al., 2006).

En el gráfico radial (figura 38) se presentan los resultados obtenidos en la valoración sensorial del panel de catadores entrenados de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días. En este gráfico se aprecia que la carne procedente del modelo EC fue valorada como más tierna, más jugosa y de mejor apreciación global que el resto de carnes en estudio.

Los valores más altos de terneza observados en la carne procedente del modelo EC están en relación con los valores más bajos de dureza instrumental presentados en el capítulo 7. El mayor grado de terneza y jugosidad en la carne de producción ecológica en cebadero observado por los panelistas entrenados también pueden ser debidos a un mayor contenido de grasa presente en el músculo de los animales criados en sistema ecológico

basado en el uso de alimento concentrado (resultados mostrados en el capítulo 5). Estos resultados son relevantes porque según detalla Thompson (2002) la jugosidad y la terneza son los dos principales atributos que de forma conjunta influyen en la palatabilidad de la carne de ternera durante su consumo.

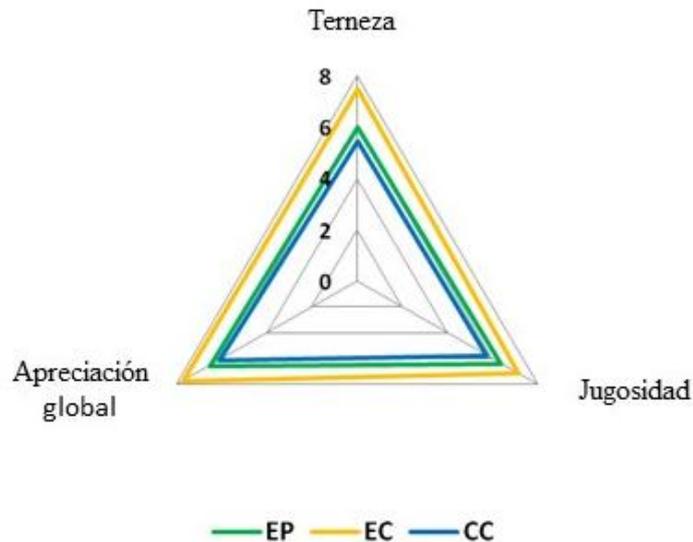


Figura 38. Representación gráfica de la valoración sensorial del panel de catadores entrenados de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días y obtenida a partir de los sistemas de producción ecológico a pasto (EP), ecológico a pienso (EC) y producción convencional (CC).

La valoración subjetiva mediante el análisis sensorial llevada a cabo en el presente capítulo permite complementar la información hasta el momento obtenida mediante los métodos de análisis instrumental, consiguiendo con ello definir de manera objetiva los parámetros de calidad de la carne procedente de modelos de producción ecológicos.

8.4.2. Estudio de consumidores.

En la tabla 23 se recogen los valores obtenidos, a partir del estudio de consumidores acerca de la valoración del color de la carne fresca y del olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días. En todos los atributos analizados se observa un efecto significativo del sistema de producción entre los tres tratamientos propuestos (EP, EC y CC) ($p \leq 0,001$) sobre la valoración de la carne por parte de los consumidores.

El color de la carne fresca procedente de los modelos de producción EP y CC recibió notas de valoración más elevadas que la carne procedente del sistema EC. El color es el principal atributo que participa en la decisión de la compra de un producto (Bredahl

et al., 1998; Suman y Joseph, 2014) ya que según detallan Adams y Huffman (1972) el consumidor relaciona el color de la carne con su frescura. En un estudio de mercado realizado por el MAGRAMA (2010) se demostró que un 20,9% de los consumidores españoles relacionan el término calidad de la carne de ganado bovino con un color claro frente a un 7,0% que consideraban carnes de calidad aquellas que son más oscuras. En otro estudio, Bello *et al.* (2000) informaron sobre los problemas de aceptabilidad de la carne oscura de la especie bovina y la preferencia de los consumidores sobre las carnes más claras. Algunos estudios muestran que la carne procedente de sistemas de producción ecológicos es inicialmente peor valorada por los consumidores que las carnes procedentes de los sistemas convencionales de producción debido fundamentalmente a que presentan un color más oscuro (Frylinck *et al.*, 2013; Florek *et al.*, 2015). El hecho de que la carne de animales en régimen extensivo sea mucho más oscura que la de animales estabulados responde al mayor ejercicio físico que realizan los animales que el que realizan los animales confinados (Vestergaard *et al.*, 2000).

En el presente estudio, la carne de producción ecológica basada en el uso del pastoreo fue valorada por los consumidores de manera similar a la carne de producción convencional basada en el uso de alimento concentrado (tabla 23).

Tabla 23. Efecto del sistema de producción (EP=ecológico de pasto, EC=ecológico de cebo y CC=cebo convencional) sobre la valoración sensorial del color de la carne fresca y el olor, terneza, jugosidad, sabor y apreciación global de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días mediante un estudio de consumidores (escala de 10 puntos).

	EP	EC	CC	EEM	Significación
Color (carne fresca)	7,28 ^a	5,08 ^b	6,68 ^a	0,151	***
Olor	6,17 ^b	6,48 ^{ab}	6,66 ^a	0,075	***
Terneza	5,56 ^b	6,68 ^a	6,72 ^a	0,089	***
Jugosidad	5,96 ^b	6,82 ^a	6,87 ^a	0,081	***
Sabor	6,03 ^b	6,75 ^a	6,93 ^a	0,078	***
Apreciación global	5,95 ^b	6,74 ^a	6,89 ^a	0,077	***

***: $p \leq 0,001$; ^{a,b}: subconjuntos homogéneos para $p \leq 0,05$ según Test de Tukey; EEM: Error estándar de la media.

En la tabla 23 se observa un efecto significativo del sistema de producción sobre el olor de la carne cocinada ($p \leq 0,001$). A juicio de los consumidores, el olor de la carne procedente del modelo de producción ecológica EP fue valorado con menor puntuación que el de la carne procedente del modelo CC, mientras que la carne procedente del modelo ecológico EC, recibió una puntuación intermedia, no encontrando los consumidores

diferencias entre la carne de producción ecológica en base a alimento concentrado y la carne procedente de los otros dos modelos de producción (EP y CC). El olor se detecta por los numerosos componentes volátiles liberados de la carne que estimula los receptores de la nariz. Aunque la carne fresca presenta una intensidad de olor bajo, cuando es cocinada o calentada, este atributo se desarrolla debido al calentamiento de los componentes hidrosolubles de bajo peso molecular, tales como los azúcares, aminoácidos, péptidos, nucleótidos y compuestos nitrogenados y a la cocción de los lípidos, principalmente los fosfolípidos y en menor medida los triglicéridos (Warris, 2000). Algunos estudios han demostrado que el sistema de alimentación de los animales puede afectar al olor de la carne (Díez *et al.*, 2006). En nuestro estudio, el tipo de alimentación (pasto *vs.* concentrado) podría dar lugar a diferentes precursores del olor, particularmente debido a las diferencias en la composición de ácidos grasos en función de los sistemas de producción. Por lo general los animales alimentados con pastos presentan mayores niveles de ácidos grasos poliinsaturados que el ganado alimentado con concentrados (Nuernberg *et al.*, 2005). Este hecho tiene importantes implicaciones en las características de calidad de la carne cocinada, tales como el olor, o la mayor susceptibilidad a la oxidación y la producción de compuestos volátiles aromáticos (Campo *et al.*, 2006). Sin embargo, algunos estudios sugieren que esta apreciación percibida podría estar más influenciada por la experiencia previa por los consumidores, sus hábitos de consumo y cuestiones culturales (Borgogno *et al.*, 2015) que por la propia composición de la carne. En este estudio, los consumidores manifestaron en la encuesta de opinión suministrada estar más acostumbrados a comer carne de animales criados principalmente con alimentos concentrados de forma convencional que carne de animales de producción ecológica. Por lo tanto, los consumidores pudieron percibir como extraño el olor típico de la carne procedente de animales ecológicos criados a base de pastos (EP), asignándole así las puntuaciones más bajas.

Según se observa en la tabla 23, las notas de valoración de los consumidores acerca de la terneza, la jugosidad, el sabor y la apreciación general de la carne del sistema de producción ecológica basada en el pastoreo (EP) fueron significativamente menores que las mostradas para la carne procedente de los sistemas de producción basados en el aporte de alimento concentrado (EC y CC). Sin embargo, las notas de valoración de estos mismos atributos en las carnes procedentes de los modelos de producción EC y CC fueron significativamente del mismo orden. La terneza de la carne es considerada como uno de

los atributos más importante para el consumidor en el momento de la ingesta (Miller *et al.*, 2001; Thompson, 2002) y su valoración en este momento puede afectar a las futuras decisiones de compra. Además, este atributo está muy relacionado con la valoración de la jugosidad de la carne durante el momento de la ingesta. Ambas apreciaciones recogidas por el sentido del tacto son las primeras impresiones afectivas durante la ingestión de la carne. Los valores obtenidos en esta prueba están de acuerdo con los obtenidos mediante la prueba Warner-Bratzler (ver capítulo 7) en la que se detalló que la carne de los animales ecológicos engordados a base de pasto resultó ser más dura que la procedente de los animales criados en sistemas basados en el aporte de alimento concentrado ecológico o convencional. Según detallan diversos autores, en los animales criados en sistemas basados en el pastoreo la actividad muscular confiere particulares características musculares relacionadas con el desarrollo de la fibra muscular o incluso con el desarrollo de tejido conectivo (fundamentalmente epimisio) (Nuernberg *et al.*, 2005; Marino *et al.*, 2006). Este hecho se refleja en una mayor resistencia muscular con el ejercicio de los animales y en consecuencia una mayor dureza muscular. En los terneros del presente estudio se ha observado que la valoración de la nota de ternera realizada por los consumidores ha sido más favorable en los animales que han sido engordados en régimen de semiconfinamiento (EC) o de confinamiento (CC) durante todo su proceso de cebo. También el contenido de grasa intramuscular y su distribución participan en la sensación de jugosidad sostenida de la carne al incidir en el incremento de producción de saliva durante el consumo (Lawrie, 1998). En este sentido, según se detalla en el capítulo 5, la carne de los sistemas EC y CC presentaron los mayores valores de grasa intramuscular, y según la valoración de los consumidores recibieron la puntuación más alta en jugosidad.

En la tabla 23 se presentan las valoraciones obtenidas a partir de las pruebas de consumidores para el sabor de la carne cocinada. En esta tabla se observa un efecto significativo del sistema de producción ($p \leq 0,001$) sobre el sabor de la carne de los terneros en los tres modelos de producción propuestos. El sabor de la carne procedente del modelo de producción ecológica basada en pastoreo fue valorado con menor puntuación y los consumidores no detectaron diferencias significativas de sabor entre la carne de producción ecológica a base de alimento concentrado y la carne producida de forma convencional ($p > 0,05$). Una gran cantidad de componentes han sido identificados como responsables del sabor de la carne, e investigaciones precedentes (Emerson *et al.*, 2013) han identificado que algunos de estos compuestos pueden estar influenciados por

la dieta de los animales. Según detallan Marmer *et al.* (1984), los aldehídos y las cetonas se encuentran en mayor proporción en la carne de animales que consumieron granos provenientes de sistemas intensivos. En cambio, la mayor proporción de aldehídos insaturados, ácidos grasos volátiles y metil cetonas están presentes en mayor medida en la carne de animales provenientes de sistemas de producción basados en el pastoreo.

Todos los resultados obtenidos de las valoraciones medias del panel de consumidores para cada uno de los sistemas de producción estudiados (el color de la carne fresca y para el olor, la terneza, la jugosidad, el sabor y la apreciación global) de la carne cocinada de terneros de raza Retinta madurada durante 7 días han sido representadas en el gráfico radial de la figura 39.

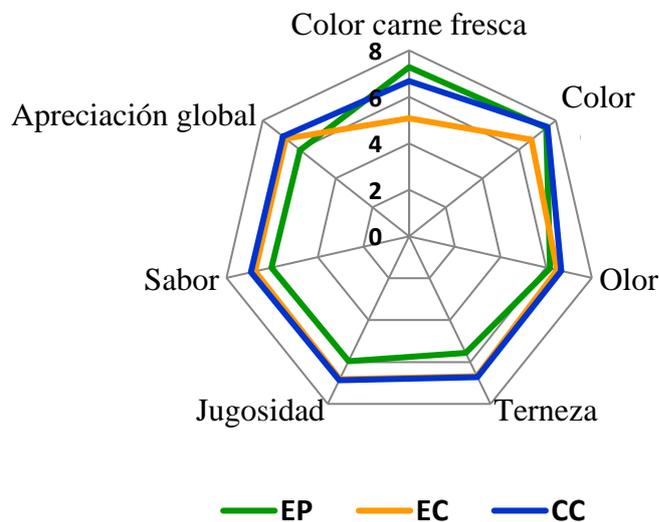


Figura 39. Representación gráfica de la valoración sensorial de consumidores de la carne de terneros de raza Retinta (fresca y cocinada) y obtenida a partir de los sistemas de producción ecológico a pasto (EP), ecológico a pienso (EC) y producción convencional (CC).

Como se ha mostrado en el presente capítulo, existen diferencias en los resultados obtenidos por parte de los catadores entrenados y consumidores en el análisis de las características sensoriales de la carne evaluada. Esto es así ya que ambos grupos de evaluadores poseen distinto umbral de percepción en los descriptores de las muestras y en la identificación de las diferencias entre las mismas. Los evaluadores entrenados aportan información más objetiva y precisa acerca de las características de la carne que la información obtenida a partir de los consumidores. Esto podría deberse a que los consumidores centran su atención en sus gustos y hábitos diarios de consumo, además de

tener menos agudeza sensorial o estar menos entrenada que la de los evaluadores de un panel entrenado (Ares *et al.*, 2015). Independientemente de la causa, hay que tener en cuenta que la información que aportan los consumidores y los jueces entrenados es diferente.

Un factor importante a tener en cuenta en el presente estudio es que la mayoría de los panelistas encuestados (aproximadamente el 60%) resultaron ser consumidores regulares de carne de ternera, pero sólo un pequeño porcentaje (menos del 10%) se identificaron como consumidores habituales de carne ecológica. Esta circunstancia puede haber influido en la aceptabilidad de los productos presentados a valoración, puesto que, si los consumidores estaban habituados a consumir carne de animales criados con alimentos convencionales concentrados, la apreciación de la carne de los terneros ecológicos alimentados con dieta basada en el pastoreo puede conferir apreciaciones extrañas para este consumidor. La idea de tener en cuenta los hábitos de consumo de los panelistas ha sido sugerida por Killinger *et al.* (2004a) y Sitz *et al.* (2005) ya que la costumbre gastronómica es un factor importante de subjetividad que puede influir en los resultados sensoriales. No obstante, la información suministrada por el estudio de consumidores puede considerarse válida y fiable, aunque no debe usarse como reemplazo del análisis descriptivo clásico.

8.5. Conclusiones.

A partir del diagnóstico de los resultados del análisis sensorial realizado en la carne de los terneros de raza Retinta madurada durante 7 días y obtenida en los tres sistemas de producción propuestos (dos sistemas de producción ecológica y un sistema de producción convencional) se puede llegar a las siguientes conclusiones:

El sistema de producción de los terneros afecta a las características sensoriales de la carne. Desde el punto de vista de los panelistas entrenados, resulta evidente la influencia del sistema de producción en el que los animales han recibido alimento ecológico concentrado durante el engorde y disponibilidad de espacio para el ejercicio, de manera que la carne de estos animales presenta mayor grado de terneza, jugosidad y mayor puntuación en la apreciación global que la carne procedente de los animales del modelo de producción ecológica en pastoreo o del modelo convencional. El efecto combinado del aporte de alimento concentrado y alta cantidad de forraje con la

disponibilidad de espacio para el ejercicio de los animales parece que mejora, a juicio de los panelistas entrenados, las propiedades sensoriales de la carne.

Por otra parte, atendiendo a los atributos sensoriales valorados en prueba de consumidores, el perfil de consumidor que ha intervenido en este estudio, ha diferenciado claramente la carne producida en el sistema de producción ecológico en el pastoreo de la carne producida en los sistemas de producción basados en el uso de alimentos concentrados, tanto ecológicos como convencionales. Esta observación hace pensar que el modelo de producción basado en la disponibilidad de espacio para el ejercicio de los animales contribuye desfavorablemente a la valoración sensorial de la carne de los terneros de raza Retinta. Sin embargo, el consumidor no ha apreciado diferencias en la valoración sensorial de la carne producida entre los modelos ecológico y convencional basados en el aporte de alimento concentrado. Esta observación debe tenerse en cuenta desde el punto de la apreciación sensorial de la carne de terneros de la raza Retinta, ya que abre la posibilidad de una nueva opción para la producción ecológica basada en el uso de alimento concentrado. Esta circunstancia puede facilitar la conversión de las explotaciones del modelo convencional al modelo de producción ecológica.

Capítulo 9.

Conclusiones generales

9. Conclusiones generales.

En base al material y metodología utilizados, a los objetivos propuestos y a los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los modelos de producción ecológica basados en el uso de pastos y de alimento concentrado con limitación de espacio para el ejercicio afectan a la composición nutricional de la carne. Fundamentalmente los modelos de producción ecológica favorecen una mejora en el contenido de agua, proteína y elementos minerales frente al modelo de producción convencional.

Independientemente del sistema de producción (ecológico o convencional), los terneros criados en sistema asociado al pastoreo presentan menor contenido de grasa que los modelos de producción basados en el aporte de alimento concentrado, constituyendo esto un criterio nutricional favorable para el consumidor que valora la carne con reducido contenido de grasa.

2. El efecto combinado de la disponibilidad de espacio para el ejercicio de los animales, junto con el contenido de agentes antioxidantes de la carne procedente del alimento suministrado favorecen la estabilidad del color de la carne durante 21 días de maduración. Esta observación es especialmente relevante en el modelo de producción ecológica de los animales criados en pastoreo.
3. Independientemente de si el sistema de producción es ecológico o convencional, el factor fundamental que influye en las propiedades reológicas de la carne de ternera de la raza Retinta es la disponibilidad de espacio para el ejercicio, de manera que la menor disponibilidad de espacio para el movimiento de los animales se relaciona con una mejora en las propiedades reológicas de la carne.
4. La respuesta de las propiedades reológicas a los procesos de maduración de la carne depende del sistema de producción, de forma que la carne de producción ecológica asociado al pastero presenta mayor velocidad en el ablandamiento que la carne procedente de animales criados en base al uso de alimento concentrado y espacio limitado para el ejercicio.
5. Independientemente del sistema de producción (ecológico o convencional), la maduración de la carne de ternera de raza Retinta mejora las propiedades reológicas del músculo, este hecho es más evidente a partir de los 14 días de maduración.

6. El sistema de producción de la ternera de la raza Retinta afecta a las características sensoriales de la carne. A juicio de los panelistas entrenados el efecto combinado del uso de alimento concentrado con altas cantidades de forraje y la disponibilidad de espacio para el ejercicio mejora las propiedades sensoriales de la carne. Sin embargo, a juicio de los consumidores la carne mejor valorada sensorialmente, independientemente de si es ecológica o convencional es aquella que se produce en modelo tradicional convencional basado en el aporte de alimento concentrado y limitación de espacio de los animales para el engorde.
7. La propuesta de un modelo de producción ecológico basado en el aporte de alimento concentrado y alta cantidad de forraje en cebadero abre la posibilidad de una nueva opción para la producción ecológica que puede ajustarse de una parte a las percepciones de los consumidores concienciados con la producción ética basada en el bienestar de los animales, y de otra en la reducción de los costes de producción, el impacto ambiental y la dependencia de las condiciones climáticas
8. La propuesta del nuevo modelo de producción ecológica basada en el uso de alimento concentrado y alta cantidad de forraje en cebadero puede ser una alternativa para la reconversión de las explotaciones ganaderas convencionales al modelo ecológico sin detrimento de la calidad físico-química y sensorial de la carne.

Referencias bibliográficas

Referencias bibliográficas.

- Aalhus, J.L., Price, M. A., Shand, P.J. and Hawrysh, Z.J. (1991). Endurance-Exercised Growing Sheep: II. Tenderness increase and change in meat quality. *Meat Science*, 29, 57-68.
- Aalhus, J.L., Robertson, W.M. and Ye, J. (2009). Muscle fibre characteristics and their relation to meat quality. En: Du, M. y McCormick, R.J. (Eds.), *Applied Muscle Biology and Meat Science*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 97-114.
- Aberle, E, Forrest, J., Gerrad, D. and Mills., E. (2001). *Principles of Meat Science* (4th ed.). Kendall Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa, 354.
- Accioli, A., Franci, O., Sargentini, C., Pugliese, C., Bozzi, R. e Lucifero, M. (1995). Effetto della frollatura sulle caratteristiche della carni di vitelloni Chianini da 16 a 24 mesi di età. En: *Actas del XI Congreso Nacional, ASPA, Grado, Italia*, 359-360.
- Adams, J.R. and Huffman, D.L. (1972). Effect of controlled gas atmospheres and temperature on quality packaged pork. *Journal Food Science*, 37, 869-375.
- AENOR (1996). Análisis sensorial. Metodología. Perfil de textura. Norma española UNE 87025. En: *Análisis sensorial. Tomo 1- Alimentación*. Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid.
- Aguilar, E. y Lozano, C. (2008). El territorio y las producciones de calidad como factor de desarrollo sostenible en el medio rural. *Agricultura Familiar en España*: 170-173.
- Albertí, P. (2000). Medición del color. En: Cañeque, V. y Sañudo, C. (Eds.), *Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes*. Monografías INIA, Serie Ganadera N°1, 159-166.
- Albertí, P., Beriain, M.J., Ripoll, G., Sarriés, V., Panea, B., Mendizabal, J.A., Purroy, A., Olleta, J.L. and Sañudo, C. (2014). Effect of including linseed in a concentrate fed to young bulls on intramuscular fatty acids and beef color. *Meat Science*, 96, 1258-1265.
- Albertí, P., Ripoll, G., Goyache, F., Lahoz, F., Olleta, J.L., Panea, B. and Sañudo, C. (2005). Carcass characterisation of seven Spanish beef breeds slaughtered at two commercial weights. *Meat Science*, 71, 514-521.
- Albertí, P., Sañudo, C., Santolaria, P., Lahoz, F., Olleta, J.L. y Campo, M. (1995). Características de la canal y calidad de la carne de añojos de la raza Retinta. *Archivos de Zootecnia* 44, 283-293.

- Aldai, N., Lavín, P., Kramer, J.K.G., Jaroso, R. and Mantecón, A.R. (2012). Breed effect on quality veal production in mountain areas: emphasis on meat fatty acid composition. *Meat Science*, 92, 687-696.
- Alfaia, C.P.M., Alves, S.P., Martins, S.I.V., Costa, A.S.H., Fontes, C.M.G.A., Lemos, J.P.C., Bessa, R.J.B. and Prates, J.A.M. (2009). Effect of the feeding system on intramuscular fatty acids and conjugated linoleic acid isomers of beef cattle, with emphasis on their nutritional value and discriminatory ability. *Food Chemistry*, 114, 939-946.
- Altieri, M.A. y Labrador, J. (1994). Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables. *Hoja divulgadora (M.A.P.A.)*, 94, 6-7.
- Amtmann, V.A., Gallo, C., Van Schaik, G. y Tadich, N. (2006). Relaciones entre el manejo *ante-mortem*, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 38, 259-264.
- Andersen, J.R., Borggaard, C., Rasmussen, A.J. and Houmoller, L.P (1999). Optical measurements of pH in meat. *Meat Science*, 53, 135-141.
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia, Zaragoza, 220 p.
- Anzaldúa-Morales, A., Lever, C. y Vernon, E.J. (1983). Nuevos métodos de evaluación sensorial y su aplicación en reología y textura. *Tecnología Alimentos*, 18, 4-15.
- AOAC, (2003). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (17^a ed.), Gaithersburg, Maryland.
- Ares, G., Antúnez, L., Bruzzone, F., Vidal, L., Giménez, A., Pineau, B., Beresford, M. K., Jin, D., Paisley, A., Roigard, C. and Jaeger, S. (2015). Comparison of sensory product profiles generated by trained assessors and consumers using CATA questions: Four case studies with complex and/or similar samples. *Food Quality and Preference* 45, 75-86.
- Asghar, A., Gray, J.I., Booren, A.M., Gomaa, E.A., Abouzied, M.M., Miller, E.R. and Buckley, D.J. (1991). Effects of supranutritional dietary vitamin E levels on subcellular deposition of α -tocopherol in the muscle and on pork quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 57, 31-41.
- Au, Y. (2004). The muscle ultrastructure: a structural perspective of the sarcomere. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61, 3016-3033.

- Avilés, C., Martínez, A.L., Domenech, V. and Peña, F. (2015). Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. *Meat Science*, 107, 94-103.
- Ayuni, F. and Rennie, D. (2012). Consumer Perceptions towards Organic Food. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 49, 360-367.
- Bailey, A.J. (1972). The basis of meat texture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23, 995-1007.
- Bailey, A.J. and Light, N.D. (1989). *Connective tissue in meat and meat products*. Elsevier applied Science, Nueva York, 95.
- Barekat, S. and Soltanzadeh, N. (2017). Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 223-229.
- Bauman, D.E., Mather, I.H., Wall, R.J. and Lock, A.L. (2006). Major advances associated with the biosynthesis of milk. *Journal of Dairy Science*, 89, 1235-1243.
- Belk, K.E., George, M.H., Tatum, J.D., Hilton, G.G., Miller, R.K., Koohmaraie, M., Reagan, J. O. and Smith, G.C. (2001). Evaluation of the Tendertec beef grading instrument to predict the tenderness of steaks from beef carcasses. *Journal Animal Science*, 79, 688-697.
- Bello, L. and Calvo, D. (2000). The importance of intrinsic and extrinsic cues to expected and experienced quality: An empirical application for beef. *Food Quality and Preference*, 11, 229-238.
- Bendall, J.R. (1961). *The Structure and Function of Muscle*. En: Bourne, G.H. (Eds), Academic Press, Nueva York, 3, 264.
- Berriain, M. J., Sanchez, M. and Carr, T.R. (2009). A comparison of consumer sensory acceptance, purchase intention, and willingness to pay for high quality United States and Spanish beef under different information scenarios. *Journal Animal Science*, 87, 3392-3402.
- Bertram, H.C., Whittaker, A.K., Shorthose, W.R., Andersen, H.J. and Karlsson, A.H. (2004). Water characteristics in cooked beef as influenced by ageing and high-pressure treatment - An NMR micro imaging study. *Meat Science*, 66, 301-306.
- Bidner, T.D., Schupp, A.R., Mohamad, A.B., Rumore, N.C., Montgomery, R.E. and Bagley, C.P. (1986). Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all-forage or a high energy diet. *Journal of Animal Science*, 62, 381-387.

- Bjorklund, E.A., Heins, B.J., A. DiCostanzo and Chester-Jones, H. (2014). Growth, carcass characteristics, and profitability of organic versus conventional dairy beef steers. *Journal of Dairy Science*, 97, 1817-1827.
- Blokhuis, H.J. (2004). Proyecto Welfare Quality® “Principios y criterios del bienestar animal”. Cofinanciado por la Comisión Europea, 6º Programa Marco, contrato N° FOOD-CT-2004-506508.
- Boggs, M.M. and Henson, H.L. (1949). Analysis of foods by sensory difference tests. *Advances Food Research*, 2, 219-225.
- Bond, J.J. and Warner, R.D. (2007). Ion distribution and protein proteolysis affect water holding capacity of Longissimus thoracis et lumborum in meat of lamb subjected to antemortem exercise. *Meat Science*, 75, 406-414.
- Borell, E. and Sørensen, J.T. (2004). Organic livestock production in Europe: aims, rules and trends with special emphasis on animal health and welfare. *Livestock Production Science*, 90, 3-9.
- Borgogno, M., Favotto, S., Corazzin, M., Cardello, A. V. and Piasentier, E. (2015). The role of product familiarity and consumer involvement on liking and perceptions of fresh meat. *Food Quality and Preference*, 44, 139-147.
- Bourne, M.C. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technology*, 32, 62-66.
- Bourne, M. C. (1982). *Food texture and viscosity*. 1st ed. Academic Press, Nueva York.
- Brady, P.L., Mckeith, F.K. and Hunecke, M.E. (1985). Comparison of Sensory and Instrumental Texture Profile Techniques for the Evaluation of Beef and Beef-Soy Loaves. *Food Science*, 50, 1537-1539.
- Bredahl, L., Grunert, K.G. and Fertin, C. (1998). Relating consumer perceptions of pork quality to physical product characteristics. *Food Quality and Preference*, 9, 273-281.
- Brewer, S. and Novakofski, J. (2008). Consumer sensory evaluations of aging effects on beef quality. *Journal of Food Science*, 73, 78-82.
- Briskey E.J. (1964). Etiological status and associated studies of pale, soft and exudative porcine musculature. *Advance Food Research*, 13, 89-93.
- Brugiapaglia, A. and Destefanis, G. (2009). Sensory evaluation of meat colour using photographs. *Italian Journal of Animal Science*, 8, 480-482.
- Caballero, I. (2002). Principios técnicos de la ganadería ecológica. Manual de agricultura y ganadería ecológica. Ed. Mundi-Prensa y Eumedia, S.A., pp. 163-168.

- Caballero, I. y Mata, C. (1996). Posibilidades de la ganadería ecológica en Andalucía. Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural. II Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Pamplona, 117-127.
- Caballero, I., Mata, C., García, C., Díaz, C., Arroyo, F.C. y Fernández, E. (2003). Aspectos clave para la planificación y manejo ecológico. *Bovis* 110, 53-77.
- Caine, W.R., Aalhus, J.L., Best, D.R., Dugan, M.E. and Jeremiah, L.E. (2003). Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science*, 64, 333-339.
- Campo, M.M., Nute, G.R., Hughes, S., Enser, M., Wood, J.D. and Richardson, R.I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72, 303-311.
- Campo, M.M., Santolaria, P., Sañudo, C., Lepetit, J., Olleta, J.L., Panea, B. and Albertí, P. (2000). Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science*, 55, 371-377.
- Campo, M.M., Sañudo, C., Panea, B., Alberti, P. and Santolaria, P. (1999). Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Science*, 51, 383-390.
- Casasús, I., Ripoll, G. and Albertí, P. (2012). Use of maize silage in beef heifers fattening diets: Effects on performance, carcass and meat quality. *Información Técnica, Económica, Agraria (ITEA)*, 108, 191-206.
- Cayuela, J.M., Garrido, M.D., Sancho Bañón, J. and Ros, J.M. (2003). Simultaneous HPLC Analysis of α -tocopherol and cholesterol in fresh pig meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1120-1124.
- Chrystall, B. (1999). Meat texture measurement. *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products. Advances in Meat Research Series* (Eds. Pearson A.M. Y Dutson, T.R.), pp. 316-336.
- CIE, 1978. Supplement N°2 to CIE 15-1971. Recommendations on uniform colour spaces, color difference equations, psychometric colour terms.
- Codex Alimentarius* Commission (2004). Guidelines for the Production, Processing, Labelling and Marketing of Organically Produced Foods, pp. 1-41.
- Combes, S., Lepetit, J.; Carche, B. and Lebas, F. (2003). Effect of cooking temperature and cooking time on Warner-Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. *Meat Science*, 66, 91-96.
- Comisión Internacional de l'Eclairage (CIE) (1986). *Colorimetry*, 2º Ed, Viena.

- Cornforth, D. (1994). Colour: its basis and importance. In: Pearson, A.M., Dutson, T.R. (Eds.), *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. *Advances in Meat Research Series*, 9, 34-78.
- Costell, E. y Durán, L. (1981). El análisis sensorial en el control de la calidad de los alimentos. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 21, 454-475.
- De la Fuente, J., Díaz, M. T., Álvarez, I., Lauzuriza, S., Pérez, C. y Cañeque, V. (2005). Comportamiento y bienestar animal. En: Cañeque, V. y Sañado, C. (Eds.), *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Monografías INIA, Serie Ganadera N°3, 47-60.
- De Smet, S., Raes, K. and Demeyer, D. (2004). Meat fatty acid composition as affected by genetic factors. *Animal Research*, 53, 81-88.
- Descalzo, A.M., Rossetti, L., Grigioni, G., Irurueta, M., Sancho, A.M. and Carrete, J. (2007). Antioxidant status and odour profile in fresh beef from pasture or grain-fed cattle. *Meat Science*, 75, 299-307.
- Destefanis, G., Brugiapaglia, A., Barge, M.T. and Dal Molin, E. (2008). Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force. *Meat Science*, 78, 153-156.
- Devesa, J.A. (1991). *Las gramíneas de Extremadura*. Universidad de Extremadura, Badajoz, España, 358 p.
- Díaz, M., Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Ruiz de Huidobro, F. and Pérez, C. (2002). Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. *Small Ruminant Research*, 43, 257-268.
- Díez, J., Alberti, P., Ripoll, G., Lahoz, F., Fernández, I., Olleta, J. L., Panea, B., Sañudo, C., Bahamonte, A. and Goyache, F. (2006). Using machine learning procedures to ascertain the influence of beef carcasses profile on carcass conformation scores. *Meat Science*, 73, 109-115.
- Dingboom, E.G. and Weijs, W.A. (2004). The effect of growth and exercise on muscle characteristics in relation to meat quality. En: Te Pas, M.F.W, Everts, M.E. y Haagsman, H.P. (Eds.), *Muscle Development of Livestock Animals: Physiology, Genetics and Meat Quality*, Cambridge, 83-102.

- Domaradzki, P., Stanek, P., Litwińczuk, Z., Piotr Skąłeczki, P. and Florek, M. (2017). Slaughter Value and Meat Quality of Suckler Calves: A Review. *Meat Science*, 134, 135-149.
- Dunne, P.G. (2003). Colour of bovine adipose and muscle tissue: impact of animal type and management factors. PhD dissertation, National University of Ireland, University College Dublin, 395.
- Dunne, P.G., Monahan, F.J. and Moloney, A.P. (2011). Current perspectives on the darker beef often reported from extensively-managed cattle: Does physical activity play a significant role? *Livestock Science*, 142, 1-22.
- Dunne, P.G., Rogalski, J., Moreno, T., Monahan, F.J., French, P. and Moloney, A.P. (2008). Colour, composition and quality of m. *longissimus dorsi* and m. *extensor carpi radialis* of steers housed on straw or concrete slats or accommodated outdoors on wood chips. *Meat Science*, 79, 700-708.
- Emerson, M. R., Woerner, D. R., Belk, K. E. and Tatum, J.D. (2013). Effectiveness of USDA instrument-based marbling measurements for categorizing beef carcasses according to differences in *Longissimus* muscle sensory attributes. *Journal of Animal Science*, 91, 1024-1034.
- Epley, R.J. (1992). Meat Tenderness. University of Minnesota. Extension Service, FO-00856, 1-9.
- Ertbjerg, P. and Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science*, 132, 139-152.
- Escribano, M. y Pulido, F. (1998). La dehesa en Extremadura. Estructura económica y recursos naturales. Colección Monografías. Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Junta de Extremadura, 145 p.
- Essén-Gustavsson, B., Lundstrom, K., Larsson, G., Lindholm, A., Nordin, A.C., Hansson, I. and Tornberg, E. (1988). The effect during growth of moderate exercise on muscle metabolic characteristics in vivo and relation to meat quality and sensory properties. En: Chandler, C.S. y Thornton, R.F. (Eds.), 34th International Congress of Meat Science and Technology, Brisbane, Australia, 27-30.
- Falowo, A.B., Fayemi, P.O. and Muchenje, V. (2014) Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products. *Food Research International*, 64, 171-181.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007). Meat processing technology. For small-to medium-scale producers, 50 p.

- FIBL, Media Kit (2017). The World of Organic Agriculture 2017.
- FIBL-IFOAM Survey (2018). The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2018.
- Florek, M., Domaradzki, P., Skálecki, P., Stanek, P. and Litwińczuk, Z. (2015). *Longissimus lumborum* quality of Limousine suckler beef in relation to age and *post-mortem* vacuum ageing. *Annals of Animal Science*, 15, 785-797.
- Folch, J., Lees, M. and Stanley, G.H.S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.
- Font i Furnols, M., Realini, C.E., Guerrero, L., Oliver, M.A., Sañudo, C., Campo, M.M., Nute, G.R., Casquete, V., Álvarez, I., San Julián, R., Luzardo, S., Brito, G. and Montossi, F. (2009). Acceptability of lamb fed on pasture, concentrate or combinations of both systems by European consumers. *Meat Science*, 81, 196-202.
- Forrest, C. J., Aberle, D. E., Hedrick, B. H., Judge, D.M. y Merkel, A.R. (1974). *Fundamentos de Ciencia de la Carne*. Editorial Acribia, Zaragoza, España, 375 p.
- Franco, D., Bispo, E., González, L., Vázquez, J.A. and Moreno, T. (2009). Effect of finishing and aging time on quality attributes of loin from the meat of Holstein-Fresian cull cows. *Meat Science*, 83, 484-491.
- Franco, J., Feed, O., Garibotto, G., Ballesteros, F., Forichi, E., Bentancur, O. and Bianchi, G. (2008). Ageing effects on textural and sensorial meat quality of Hereford heifer. *Revista Argentina de Producción Animal*, 28, 39-44.
- French, P., O’Riordan, E. G., Monahan, F. J., Caffrey, P. J., Vidal, M. and Mooney, M. T. (2000). Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Science*, 56, 173-180.
- French, P., O’Riordan, E. G., Monahan, F. J., Caffrey, P., Mooney, M. T. and Troy, D. J. (2001). The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Science*, 57, 379-386.
- Frylinck, L., Strydom, P.E., Webb, E.C. and du Toit, E. (2013). Effect of South African beef production systems on *post-mortem* muscle energy status and meat quality. *Meat Science*, 93, 827-837.
- García, C. y Cordero Morales, R. (2006). Las razas autóctonas en el contexto de la ganadería ecológica. *Revista Ganadería, Editorial Agrícola Española*, 38, 32-39.

- García, C., Bidarte, A., Caballero, I., Arroyo, F. C., Díaz, C., Fernández, E. y Mata, C. (2003). Sanidad y Bienestar en las explotaciones bovinas ecológicas. *Bovis*, 110, 79-101.
- García, P.T., Casal, J.J., Fianuchi, S., Magaldi, J.J., Rodríguez, F.J. and Ñancucheo, J.A. (2008). Conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids in muscle lipids of lambs from the Patagonian area of Argentina. *Meat Science*, 78, 541-548.
- García, R. (2000). Organic livestock production in Spain. Part B: The diversity of organic livestock systems—Austria and Spain. The diversity of livestock systems and definition of animal welfare. Proceedings of the 2nd NAHWOA Workshop, Córdoba, 40-49.
- García-Torres, S; López-Gajardo, A. and Mesías, F.J. (2016). Intensive vs. free-range organic beef. A preference study through consumer liking and conjoint analysis. *Meat Science*, 114, 114-120.
- Garrido, M.D., Bañón, S. y Álvarez, D. (2005). Medida del pH. En: Cañeque, V. y Sañado, C. (Eds.), Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA, Serie Ganadera N°3, 206-215.
- Gerelt, B., Ikeuchi, Y. and Suzuki, A. (2000). Meat tenderization by proteolytic enzymes after osmotic dehydration. *Meat Science*, 56, 311-318.
- Giradot, N.F., Peryam, D.R. and Shapiro, R. (1952). Selection of sensory testing panels. *Food Technology*, 6, 140-148.
- Golze, M. (2001). Wachstum, Schlachtleistung und Schlachtkörperqualität von Weidemastkälbern aus der Mutterkuhhaltung mit Fleischrindrassen. *Archiv Tierzucht*, 44, 621-627.
- González, A., Redondo, F., Arrebola, F., Casado, J., Camps, M.J., Rull, P. y Sánchez, R. (2011a). Manual de conversión a la producción ecológica. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, 184 p.
- González, R.M., Franco, D., Fernández, M., Justo, J.R., Moreno, T., Lama, J., Lorenzo, J.M. and Rivero C.J. (2011b). Meat quality of Frieiresa cattle breed. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1, 222-225.
- González, V. (2004). Ganadería extensiva y medioambiente: Contribución al equilibrio de los ecosistemas. 1^a Conferencia Internacional Ecológica en el sur de Europa, Zamora, pp. 19-30.

- Gothard, R. H., Mullins, A. M., Boulware, R. F. and Hansard, S. L. (1966). Histological studies of *post-mortem* changes in sarcomere length as related to bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science*, 31, 825-828.
- Gray, J.I., Goma, E.A. and Buckley D.J. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, 111-123.
- Griel, A. E., Ruder, E. H. and Kris-Etherton, P. M. (2006). The changing roles of dietary carbohydrates: from simple to complex. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 26, 1958-1965.
- Guerrero, L. (2000). Determinación sensorial de la calidad de la carne. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne de rumiantes. Ministerio de Ciencia y Tecnología. INIA. Madrid, 364 p.
- Guerrero, L. y Guàrdia, D. (1999). Evaluación de la terneza en carne de ternera: Relación entre las medidas sensorial e instrumental según la dirección de las fibras musculares. VIII Jornadas sobre Producción Animal, Vol. Extra, N° 20. Tomo I, pp. 11-13.
- Guerrero, L. y Guàrdia, M.D. (1998). Evaluación de la fiabilidad de un panel de cata. III Jornadas de Análisis Sensorial, Asturias, 45-56.
- Guillemín N., Jurie C., Micol D., Renand G., Hocquette J.F. and Picard B. (2011). Prediction equations of beef tenderness: implication of oxidative stress and apoptosis. Proceedings of the 57th ICoMST, Gante (Bélgica), 109.
- Hamm, R. (1963). Die Mikrostruktur des muscels und ihre beziehung zum wasserbindungsvermögen des Fleisches. *Fleischwirtschaft*, 15, 298-309.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the miofibrillar system and their measurements. En: *Muscle as food* (Bechtel, P.J.), Academic Press, Orlando, pp. 135-199.
- Henchion, M.M., McCarthy, M. and Resconi, V.C. (2017). Beef quality attributes: A systematic review of consumer perspectives. *Meat Science*, 128, 1-7.
- Henckel, P., Karlsson, A., Oksbjerg, N. and Soholm Petersen, J. (2000). Control of post mortem pH decrease in pig muscles: experimental design and testing of animal models. *Meat Science*, 55, 131-138.
- Hermansen, J.E. (2003). Organic livestock production systems and appropriate development in relation to public expectations. *Livestock Production Science*, 80, 3-15.

- Hernández, F. (2004). El medio físico en Extremadura. El Medio Extremeño. Foresta, 27 p.
- Herring, H. K., Cassens, R. G., Suess, C. G., Brungardt, V. H. and Briskey, E. J. (1967). Tenderness and associated characteristics of stretched and contracted bovine muscles. *Journal of Food Science*, 32, 317-323.
- Hildrum, K.I.R., Rodbotten, R., Hoy, M., Berg, J., Narum, B. and Wold, J.P. (2009). Classification of different bovine muscles according to sensory characteristics and Warner Bratzler shear force. *Meat Science*, 83, 302-307.
- Hocquette, J.F., Gondret, F., Baéza, E., Médale, F., Jurie, C. and Pethick, D. W. (2010). Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development, genetic and nutritional control, identification of putative markers. *Animal*, 4, 303-319.
- Honikel, K.O. (1997). Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. *Food Chemistry*, 59, 573-582.
- Honikel, K.O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49, 447-457.
- Honikel, K.O. (2004). Conversion of muscle to meat. En: Jensen, W.K., Devien, C.E. y Dikeman, M. (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences*: Elsevier Academic Press, 1712 p.
- Honikel, K.O. and Hamm, R. (1994). Measurement of water-holding capacity and juiciness. *Quality Attributes and their Measurement. Meat, Poultry and Fish Products. Advances in Meat Research Series* (Eds. Pearson A.M. & Dutson, T.R.), 125-161.
- Hopkins, D.L. and Thompson, J.M. (2001). The relationship between tenderness, proteolysis, muscle contraction and dissociation of actomyosin. *Meat Science*, 57, 1-12.
- Hopkins, D.L. and Thompson, J.M. (2002). The degradation of myofibrillar proteins in beef and lamb using denaturing electrophoresis - an overview. *Journal of Muscle Foods*, 13, 81-102.
- Horcada, A., Polvillo, O., Juárez, M., Avilés, C., Martínez, A.L. and Peña, F. (2016). Influence of feeding system (concentrate and total mixed ration) on fatty acid profiles of beef from three lean cattle breeds. *Journal Food Composition and Analysis*, 49, 110-116.
- Hornsey, H.C. (1956). The colour of cooked cured pork. I. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 7, 534-540.

- Hou, X., Liang, R., Mao, Y., Zhang, Y., Niu, L., Wang, R., Liu, C., Liu, Y. and Luo, X. (2014). Effect of suspension method and ageing time on meat quality of Chinese fattened cattle M. *Longissimus dorsi*. Meat Science, 96, 640-645.
- Hovi, M., Sundrum, A. and Thamsborg, S.M. (2003). Animal health and welfare in organic livestock production in Europe: current state and future challenges. Livestock Production Science, 80, 40-53.
- Huff-Lonergan, E., Zhang, W. and Lonergan, S.M. (2010). Biochemistry of *post-mortem* muscle-Lessons on mechanisms of meat tenderization. Meat Science, 86, 184-195.
- Hughes, J.M., Oiseth, S.K., Purslow, P.P. and Warner R.D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. Meat Science, 98, 520-532.
- Hui, Y. H, Guerrero, I. y Rosmini, M. (2006). Ciencia y Tecnología de Carnes. Ed. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Balderas 95, Mexico, D.F., 634 p.
- Humada, M.J., Sañudo, C. and Serrano, E. (2014). Chemical composition, vitamin E content, lipid oxidation, colour and cooking losses in meat from Tudanca bulls finished on semi-extensive or intensive systems and slaughtered at 12 or 14months. Meat Science, 96, 908-915.
- Hunt, M.C., Acton, J.C., Benedict, R.C., Calkins, C.R., Cornforth, D.P., Jeremiah, L.E., Olson, D.G., Salm, C.P., Savell, J.W. and Shivas, S.D. (1991). Guidelines for meat colour evaluation. Proceedings 44th Reciprocal Meat Conference, 41-46.
- Hunter, R.S. and Harold, R.W. (1987). The Measurement of Appearance. 2nd edition. John Wiley y Sons, Nueva York, 432 p.
- IFOAM (2005). Principles of Organic Agriculture. International Federation of Organic Agricultura Movements. Bonn, Alemania.
- Innova Market Insights (2016). “Top Food &Beverages Trends for 2016: Clean Eating”.
- Insani, E.M. Eyherabide, A., Grigioni, G., Sancho, A.M., Pensel, N.A. and Descalzo, A.M. (2008). Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina. Meat Science, 79, 444-452.
- Insausti, K., Goñi, V., Petri, E., Gorraiz, C. and Beriain, M.J. (2005). Effect of weight at slaughter on the volatile compounds of cooked beef from Spanish cattle breeds. Meat Science, 70, 83–90.

- ISO 8589 (2007). Sensory analysis - General guidance for the design of test rooms. International Organization for Standardization.
- ISO R-936 (1973). Determination of inorganic compounds - International Standards Meat and Meat Products. International Organization for Standardization.
- Jacob, H.R., D'Antuono, F.M., Gilmour, R.A. and Warner, D.R. (2014). Phenotypic characterisation of colour stability of lamb meat. *Meat Science*, 96, 1040-1048.
- Jankowska-Huflejt, H., Zastawny, J., Wróbel, B. and Burs, W. (2004). Natural and economic conditions for the development of organic farms in Poland. Enhancing animal health security and food safety in organic livestock production. Proceedings of the 3rd SAFO Workshop, Falenty, Polonia, 101-113.
- Jayasooriya, S.D., Torley, P.J., D'Arcy, B.R. and Bhandari, B.R. (2007). Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and *Longissimus* muscles. *Meat Science*, 75, 628-639.
- Joo, S.T., Kim, G.D., Hwang, Y.H. and Ryu, Y.C. (2013). Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fibre characteristics. *Meat Science*, 95, 828-836.
- Jurie, C., Ortigues-Marty, I., Picard, B., Micol, D. and Hocquette, J.F. (2006). The separate effects of the nature of diet and grazing mobility on metabolic potential of muscles from Charolais steers. *Livestock Science*, 104, 182-192.
- Kannan, G., Terrill, T.H., Kouakou, B., Gelaye, S. and Amoah, E.A. (2002). Simulated *pre*-slaughter holding and isolation effects on stress responses and live weight shrinkage in meat goats. *Journal Animal Science*, 80, 1771-1780.
- Kanner, J. (1994). Oxidative process in meat products: Quality implications. *Meat Science*, 36, 169-189.
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. and Tsuji, S. (1996). Attractive quality and must-be quality. Hromi, J.D. (Ed.), *The Best on Quality*, 7., 165-186.
- Karlsson, A., Klont, R. and Fernandez, X. (1999). Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Production Science*, 60, 255-269.
- Keatinge, R., Gray, D., Thamsborg, S.M., Martini, A. and Plate, P. (2000). EU Regulation 1804/1999 – the implications of limiting allopathic treatment. Part B: The diversity of organic livestock systems–Austria and Spain. The diversity of livestock systems and definition of animal welfare. Proceedings of the 2nd NAHWOA Workshop, Córdoba, 92-98.
- Kemp, C.M., Sensky, P.L., Bardsley, R.G., Buttery, P.J. and Parr, T. (2010). Tenderness - An enzymatic view. *Meat Science*, 84, 248-256.

- Kemp, C.M. and Parr, T. (2012). Advances in apoptotic mediated proteolysis in meat tenderisation. *Meat Science*, 92, 252-259.
- Killinger, K. M., Calkins, C. R., Umberger, W. J., Feuz, D. M. and Eskridge, K. M. (2004b). Consumer sensory acceptance and value for beef steaks of similar tenderness but differing in marbling level. *Journal of Animal Science*, 82, 3294-3301.
- Killinger, K. M., Calkins, C. R., Umberger, W. J., Feuz, D.M. and Eskridge, K. M. (2004a). A comparison of consumer sensory acceptance and value of domestic beef steaks and steaks from a branded, Argentine beef program. *Journal of Animal Science*, 82, 3302-3307.
- Kondjoyan, A., Oillic, S., Portanguen, S.P. and Gros, J.B. (2013). Combined heat transfer and kinetic models to predict cooking loss during heat treatment of beef meat. *Meat Science*, 95, 336-344.
- Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43, 193-201.
- Koohmaraie, M., Kent, M., Shackelford, S., Veiseth, E. and Wheeler, T. (2002). Meat tenderness and muscle growth: Is there any relationship? *Meat Science*, 62, 345-352.
- Kris-Etherton, P. M. and Innis, S. (2007). Position of the American Dietetic Association and Dietitians of Canada: Dietary Fatty Acids. *Journal of the American Dietetic Association*, 107, 1599-1611.
- Kristensen, L. and Purslow, P.P. (2001). The effect of ageing on the water-holding capacity of pork: Role of cytoskeletal proteins. *Meat Science*, 58, 17-23.
- Larmond, E. (1977). *Laboratory Methods for Sensory Evaluation of Food*. Food Research Institute. Departamento de Agricultura, Canadá.
- Lawrence, T.L.J. and Fowler, V.R. (2002). *Growth of farm animals*. 2nd ed., CABI Publishing, 229-254.
- Lawrie R.A. (1998). The conversion of muscle to meat. *Lawrie's Meat Science*. Ed. Woodhead Publishing. Cambridge, Inglaterra, pp. 96-118.
- Lawrie, R.A. and Ledward, D. A. (2006). The eating quality of meat. En: Lawrie, R.A. y Ledward, D.A., *Lawrie's meat science (7 Ed.)*. Woodhead Publishing Limited an CRC Press, USA, 279-341.

- Lee, H. and Yun, Z. (2015). Consumers' perceptions of organic food attributes and cognitive and affective attitudes as determinants of their purchase intentions toward organic food. *Food Quality and Preference*, 39, 259-267.
- Lee, S.H., Joo, S.T. and Ryu, Y.C. (2010). Skeletal muscle fiber type and myofibrillar proteins in relation to meat quality. *Meat Science*, 86, 166-170.
- Lefaucheur, L. and Gerrard, D. (2000). Muscle fibre plasticity in farm mammals. *Journal of Animal Science*, 77, 1-19.
- Lepetit, J. and Culioli, J. (1994). Mechanical-Properties of Meat. *Meat Science*, 36, 203-237.
- Lin, B. (2013). An analysis of consumer preferences for grass-fed versus grain-fed beef. Tesis M.S. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Estados Unidos de América.
- Liu, Q., Scheller, K.K. and Schaeffer, D.M. (1996). Technical note: a simplified procedure for vitamin E determination in beef muscle. *Journal of Animal Science*, 74, 2406-2410.
- Lozano, C. (2009). Los atributos de los alimentos ecológicos: distinción, calidad y seguridad. En: Simón, X. y Copenan D. (Ed), *Construyendo un rural agroecológico*. Universidad de Vigo, pp. 317-334.
- Lund, V. (2006). Natural living – a precondition for animal welfare in organic farming. *Livestock Science*, 100, 71-83.
- MacRae, J., O'Reilly, L. and Morgan, P. (2005). Desirable characteristic of animal product from a human health perspective. *Livestock Production Science*, 94, 95-103.
- MAGRAMA (2010). Estudio de Mercado. Observatorio del Consumo y la Distribución Alimentaria. www.mapama.gob.es. Consultado el 20 de mayo de 2018.
- Mancini, R. A. and Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.
- MAPAMA (2018). <http://www.mapama.gob.es>. Consultada el 3 de mayo de 2018.
- Marieb, E. N. (2009). *Anatomía e Fisiología*. 3ª Ed, Porto Alegre- RS: ARTMED, 1072 p.
- Marino, R., Albenzio, M., Braghieri, A., Muscio, A. and Sevi, A. (2006). Organic farming: effects of forage to concentrate ratio and ageing time on meat quality of Podolian young bulls. *Livestock Science*, 102, 42-50.
- Marmer, W.N., Maxwell, R.J. and Williams, J.E. (1984). Effects of dietary regimen and tissue site in bovine fatty acid profiles. *Journal Animal Science*, 59, 109-121.

- Martínez-Cerezo, M.S. (2005). Calidad Instrumental y Sensorial de la Carne Ovina. Influencia de la raza, el peso de sacrificio y el tiempo de maduración. Tesis Doctoral. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria Universidad de Zaragoza (Zaragoza, España).
- Mata, C., Caballero, I., Fernández, E., Díaz, C., Arroyo, F. C. y García, C. (2003). La Ganadería Ecológica en España. Situación Actual, Productiva y Comercial. Perspectivas Futuras. *Bovis*, 110, 11-23.
- McDougall, D.B. (1982). Changes in the colour and opacity of meat. *Food Chemistry*, 9, 74-88.
- Miller, M. F., Carr, M. A., Ramsey, C. B., Crockett, K. L. and Hoover, L. C. (2001). Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 79, 3062-3068.
- Miller, R.K. (1994). Quality Characteristics of muscle foods. En: Kinsman, D.M., Kotula, A.W. and Breidenstein, B.C. (Eds.), *Muscle Foods*, Chapman&Hall, Nueva York, 296-332
- Minetti, A.C. (2002). Marketing de alimentos ecológicos. Ed. Pirámide, Madrid, 271 p.
- Miotello, S., Bondesan, V., Tagliapietra, F., Schiavon, S. and Bailoni, L. (2009). Meat quality of calves obtained from organic and conventional farming. *Italian Journal of Animal Science*, 8, 213-215.
- Miranda de la Lama, G.C., Pascual-Alonso, M., Guerrero A., Alberti, P., Alierta, S., Sans, P., Gajan, J.P., Villarroel, M., Dalmau, Velarde, A., Campo, M.M., Galindo, F., Santolaria, M.P., Sañudo, C. and María, G.A. (2013). Influence of social dominance on production, welfare and the quality of meat from beef bulls. *Meat Science*, 94, 432-437.
- Moller, A. (1980). Analysis of Warner-Braztler shear force pattern with regard to myofibrillar and connective tissue components of tenderness. *Meat Science*, 5, 247-260.
- Moloney, A.P., Drennan, M.J., O'Neill, B.J., Mooney, M.T. and Troy, D.J. (2000). Fat colour and the quality of meat from beef cattle offered grass silage or concentrate-based diets. *Proceedings of the Agricultural Research, Forum*, 107-188.
- Monsón F., Sañudo C. and Sierra I. (2004). Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Science*, 68, 595-602.

- Monson, F., Sañudo, C. and Sierra, I. (2005). Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Science*, 71, 471-479.
- Moon, S.S., Yang, H.S., Park, G.B. and Joo, S.T. (2006). The relationship of physiological maturity and marbling judged according to Korean grading system to meat quality traits of Hanwoo beef females. *Meat Science*, 74, 516-521.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. y Cuadrado, C. (2010). *Tablas de composición de alimentos*, 13ª Ed., Madrid, 296 p.
- Morón O. y Zamorano L. (2004). Pérdida por goteo en carne cruda de diferentes tipos de animales. *Revista Científica FCV-LUZ*, 14, 36-39.
- Morrissey, P.A., Buckley, D.J., Sheehy, P.J.A. and Monahan, F.J (1994). Vitamin E and meat quality. *Proceedings of the Nutrition Society*, 53, 289-295.
- Morrissey, P.A., Sheehy, P.J.A., Galvin, K., Kerry, J.P. and Buckley, D.J. (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*, 49, 73-86.
- Nardone, A., Zervas, G. and Ronchi, B. (2004). Sustainability of small ruminant organic systems of production. *Livestock Production Science*, 90, 27-39.
- Neely, T. R., Lorenzen, C. L., Miller, R. K., Tatum, J. D., Wise, J. W., Taylor, J. F. and Savell, J. W. (1998). Beef customer satisfaction: Role of cut, USDA quality grade, and city on inhome consumer ratings. *Journal of Animal Science*, 76, 1027-1033.
- Nozière, P., Grolier, P., Durand, D., Ferlay, A., Pradel, P and Martin, B. (2006). Carotenoids in ruminants: from forages to dairy products. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 418-450.
- Nuernberg, K., Dannenberger, D., Nuernberg, G., Ender, K., Voigt, J. And Scollan, N.D. (2005). Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of *Longissimus* muscle in different cattle breeds. *Livestock Production Science*, 94, 137-147.
- Offer, G. and Cousins, T. (1992). The mechanism of drip production: Formation of two compartments of extracellular space in muscle *post-mortem*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58, 107-116.
- Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T. and Elsey, J. (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure*, 8, 151-170.

- Oliván, M. y Guerrero, L. (2002). Formación de un panel de catas especializado en carne de vacuno: selección de catadores y entrenamiento del grupo. *Eurocarne*, 106, 91-100.
- Oliván, M., Martínez, A., Osoro, K., Sañudo, C., Panea, B., Olleta, J.L., Campo, M.M., Oliver, M.A., Serra, X., Gil, M. and Piedrafita, J. (2004). Effect of muscular hypertrophy on physico-chemical, biochemical and texture traits of meat from yearling bulls. *Meat Science*, 68, 567-575.
- Oliván, M., Martínez, M.J., Mocha, M., García, P., Martínez, A., Castro, P. y Osoro, K. (2003). Efecto del genotipo y la castración sobre la calidad físico-química y sensorial de la carne de terneros añejos cebados en intensivo. *Información Técnica, Económica, Agraria (ITEA)*, 24, 25-27.
- Olson, D.G. Parrish, J.R. and Stromer, M.H (1976). Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during *post-mortem* storage. *Journal of Food Science*, 41, 1036-1041.
- Olsson, V. and Pickova, J. (2005). The influence of production systems on meat quality, with emphasis on pork. *Journal Human-Environment System*, 34, 338-343.
- Olsson, V., Anderssonb, K., Hanssona, I., and Lundström, K. (2003). Differences in meat quality between organically and conventionally produced pigs. *Meat Science*, 64, 287-297.
- Orden ECC/1936/2014, de 16 de octubre, por la que se dictan normas de control e inspección en la importación de productos ecológicos procedentes de terceros países.
- Ordoñez, J.A., Cambero, M.I., Fernández, L., García, M.L., García, G., de la Hoz, L. y Selgas, M.D. (1998). Características sensoriales de la carne. *Tecnología de los Alimentos*, Vol. 2, Alimentos de origen animal, Ed. Síntesis, 188-224.
- Padel, S., Röcklinsberg, H., Verhoog, H., Fjelsted Alrøe, H., de Wit, J., Kjeldsen, C. and Schmid, O. (2007). Balancing and integrating basic values in the development of organic regulations and standards: proposal for a procedure using case studies of conflicting areas. Universidad de Wales, Aberystwyth (UWA) y Centro de Investigación Danés para la Agricultura Ecológica (DARCOF), Aberystwyth, Tjele.

- Palka, K. (2003). The influence of post-mortem ageing and roasting on the microstructure, texture and collagen solubility of bovine semitendinosus muscle. *Meat Science*, 64, 191-198.
- Panea, B., Ripoll, G., Sañudo, C., Olleta, J.L. y Albertí, P. (2016). Calidad instrumental de la carne de terneros procedentes del cruce industrial de la raza Retinta. *Información Técnica, Económica, Agraria (ITEA)*, 112, 286-300.
- Pangborn, R.M. (1964). Sensory evaluation of food: a look backward and forward. *Food Technology*, 18, 1309-1322.
- Pangborn, R.M. (1980). Sensory science today. *Cereal Foods World*, 25, 637-640.
- Pearce, K.L., Rosenvold, K., Andersen, H.J. and Hopkins, D.L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes. A review. *Meat Science*, 89, 111-124.
- Pearson, A. M. and Young, J. R. (1989). *Muscle and Meat Biochemistry*, Ed. Academic Press, Londres, 457 p.
- Penny, I.F. (1984). Enzimología de la maduración in: *Avances de la ciencia de la carne*. Ralston Lawrie. Ed. Acribia. Zaragoza, España, 149-181.
- Pérez, J.A. (2004). *Raza Retinta: La Raza de la Dehesa*. Mundo Ganadero, 164 p.
- Pérez, D. y Andújar, G. (2008). Cambios de coloración de los productos cárnicos. *Mundo Lácteo y Cárnico*, N° Enero-Febrero, 7-13.
- Perry, N. (2012). Dry aging beef. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1, 78-80.
- Petersen, J.S., Henckel, P., Maribo, H., Oksbjerg, N. and Sorensen, M.T. (1997). Muscle metabolic traits, post mortem pH-decline and meat quality in pigs subjected to regular physical training and spontaneous activity. *Meat Science*, 46, 259-275.
- Petersen, J.S., Henckel, P., Oksbjerg, N. and Sorensen, M.T. (1998). Adaptations in muscle fibre characteristics induced by physical activity in pigs. *Journal of Animal Science*, 66, 733-740.
- Pette, D. and Staron, R.S. (2001). Transitions of muscle fibre phenotypic profiles. *Histochemistry and Cell Biology*, 115, 359-372.
- Poste, L.M., Butler, G., Mackie, D., Agar, V.E., Thompson, B.K., Ciplef, R.L. and McKay, R.M. (1993). Correlations of sensory and instrumental meat tenderness values as affected by sampling techniques. *Food Quality and Preference*, 4, 207-214.

- Priolo A., Micol, D. and Agabriel, J. (2001). Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research*, 50, 185-200.
- Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., Prache, S. and Dransfield, E. (2002). Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Science*, 62, 179-185.
- Pulido, F. y Picardo, A. (2010). El libro verde de la dehesa. Consejería de Medioambiente (Junta de Castilla y León), Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF), Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP), Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET) y Sociedad Española de Ornitología (SEO).
- Raes, K., Balcaen, A., Dirinck, P., De Winne, A., Claeys, E., Demeyer, D. and De Smet, S. (2003). Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in Belgian retail beef. *Meat Science*, 65, 1237-1246.
- Razminowicz, R.H., Kreuzer, M. and Scheeder, M.R.L. (2006). Quality of retail beef from two grass-based production systems in comparison with conventional beef. *Meat Science*, 73, 351-361.
- Real Decreto 1852/1993, de 22 de octubre, sobre producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.
- Real Decreto 833/2014, de 3 de octubre, por el que se establece y regula el Registro General de Operadores Ecológicos y se crea la Mesa de coordinación de la producción ecológica.
- Reglamento (CEE) N° 2092/1991, del Consejo de 24 de junio de 1991, sobre producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.
- Reglamento (CE) N° 1804/1999 del Consejo, de 19 de julio de 1999, por el que se completa, para incluir las producciones animales, el Reglamento (CEE) N° 2092/1991 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.
- Reglamento (CE) N° 1/2005 del Consejo, de 22 de diciembre de 2004, relativo a la protección de los animales durante el transporte y las operaciones conexas y por el que se modifican las Directivas 64/432/CEE y 93/119/CE y el Reglamento (CE) N° 1255/97.
- Reglamento (CE) N° 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal.

- Reglamento (CE) N° 1183/2006 del Consejo, de 24 de julio de 2006, sobre el modelo comunitario de clasificación de las canales de vacuno pesado (versión codificada).
- Reglamento (CE) N° 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) N° 2092/1991 sobre producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.
- Reglamento (CE) N° 889/2008 de la Comisión, de 5 de septiembre de 2008, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N° 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control.
- Reglamento (CE) N° 1235/2008 de la Comisión, de 8 de diciembre de 2008, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N° 834/2007 en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países.
- Reglamento (UE) N° 271/2010 de la Comisión, de 24 de marzo de 2010, que modifica el Reglamento (CE) N° 889/2008 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N° 834/2007 en lo que atañe al logotipo de producción ecológica de la Unión Europea.
- Reglamento (UE) N° 392/2013 de la Comisión, de 29 de abril de 2013, que modifica el Reglamento (CE) N° 889/2008 en lo que respecta al régimen de control de la producción ecológica.
- Reglamento (UE) 673/2016 de la Comisión, de 29 de abril de 2016, que modifica el Reglamento (CE) N° 889/2008 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N° 834/2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control.
- Rehfeldt, C., Fiedler, I. and Stickland, C. (2004). Number and size of muscle fibers in relation to meat production. En: Te Pas, M.F.W, Everts, M.E. y Haagsman, H.P. (Eds.), *Muscle Development of Livestock Animals: Physiology, Genetics and Meat Quality*, Cambridge, 1-38.
- Renand, G., Picard, B., Touraille, C., Berge, P. and Lepetit, J. (2001). Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science*, 59, 49-60.

- Resconi, V.C. (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 master, CIHEAM, Zaragoza, España.
- Revilla, I. and Vivar-Quintana, A.M. (2006). Effect of breed and ageing time on meat quality and sensory attributes of veal calves of the “Ternera de Aliste” Quality Label. *Meat Science*, 73, 189-196.
- Rhee, M., Wheeler, T., Shackelford, S. and Koohmaraie, M. (2004). Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *Journal of Animal Science*, 82, 534-550.
- Rigby, D. and Cáceres, D. (2001). Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 68, 21-40.
- Ripoll, G., Albertí, P., Casasús, I. and Blanco, M. (2013). Instrumental meat quality of veal calves reared under three management systems and color evolution of meat stored in three packaging systems. *Meat Science*, 93, 336-343.
- Ripoll, G., Panea, B. and Albertí, P. (2012). Visual appraisal of beef: Relationship with CIELab colour space. *Información Técnica, Económica, Agraria (ITEA)*, 108, 222-232.
- Roncalés, P., Geesink, G.H., van Laack R.L.J.M., Jaime, I., Beltrán, J.A., Barnier, V.M.H. and Smulders, F. J. M. (1995). Meat tenderisation: enzymatic mechanism. En: Ouali, A., Demeyer, D.I y Smulders, F.J. (Eds.), *Expression of Tissue Proteinases and Regulation of Protein Degradation as Related to Meat Quality*, ECCEAMST, Utrecht, 311-332.
- Ruiz de Huidobro, F., Miguel, E., Onega, E. and Blázquez, B. (2003). Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days *post mortem*. *Meat Science*, 65, 1439-1446.
- Ruiz de Huidobro, F., Miguel, E., Blázquez, B. and Onega, E. (2005). A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, 69, 527-536.
- Rule, D.C., Busboom, J.R. and Kercher, C.J. (1994). Effect of dietary canola on fatty acid composition of bovine adipose tissue, muscle, kidney and liver. *Journal of Animal Science*, 72, 2735-2744.
- Sales, J. and KoukOLOVA, V. (2011). Dietary vitamin E and lipid and color stability of beef and pork: Modeling of relationships. *Journal Animal Science*, 89, 2836-2848.

- Sánchez, A. (2002). Razas Ganaderas Españolas Bovinas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2845 p.
- Santos-Silva, J., Mendes, I. and Bessa, R. (2002). The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. 1. Growth, carcass composition and meat quality. *Livestock Production Science*, 76, 17-25.
- Sañudo, C. (1992). La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina: factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. *Curso Internacional de Producción Ovina*, Zaragoza.
- Sañudo, C., Albertí, P., Campo, M.M., Olleta, J.L. y Panea, B. (1998). Calidad instrumental de la carne de bovino de siete razas españolas. *Archivos de Zootecnia*, 48, 397-402.
- Sañudo, C., Macie, E.S., Olleta, J.L., Villarroel, M., Panea, B. and Albertí, P. (2004). The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science*, 66, 925-932.
- Sather, A.P., Jones, S.D.M., Schaefer, A.L., Colyn, J. and Robertson, W.M. (1997). Feedlot performance, carcass composition and meat quality of free range reared pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 77, 225-232.
- Savell, J., Mueller, S. and Baird, B.E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat Science*, 70, 449-459.
- Schader, C., Müller, A. y El-Hage Scialabba, N. (2013). La sostenibilidad y la modelización de la ganadería orgánica (Modelo SGO). Repercusiones de la intensificación mundial de la producción ganadera orgánica y de bajos insumos. *FAO*, 14 p.
- Schönfeldt, H.C. and Strydom, P.E. (2011). Effect of age and cut on tenderness of South African beef. *Meat Science*, 87, 206–218.
- Scollan, N.D., Dannenberger, D., Nuernberg, K., Richardson, I., MacKintosh, S., Hocquette, J. F. and Moloney, A.P. (2014). Enhancing the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 97, 384-394.
- Seeley, R.R., Stephens, T.D. and Tate, P. (2002). *Essentials of Anatomy and Physiology*, Ed. McGraw Hill Higher Education, 318 p.
- Seideman, S.C., Cross, H.R., Smith, G.C. and Durland, P.R. (1984). Factors affecting fresh meat colour: a review. *Journal of Food Quality*, 6, 211-237.

- Sentandreu, M.A., Coulis, G. and Ouali, A. (2002). Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 400-421.
- Serra, X., Guerrero, L., Guàrdia, M.D., Gil, M., Sañudo, C., Panea, B., Campo, M.M., Olleta, J.L., García-Cachán, M.D., Piedrafita, J. and Oliver, M.A. (2008). Eating quality of young bulls from three Spanish beef breed-production systems and its relationships with chemical and instrumental meat quality. *Meat Science*, 79, 98-104.
- Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Meade, M.K., Reagan, J.O., Byrnes, B.L. and Koohmaraie, M. (2001). Consumer impressions of tender select beef. *Journal of Animal Science*, 79, 2605-2614.
- Sierra, V., Guerrero, L., Fernández-Suárez, V., Martínez, A., Castro, P., Osoro, K., Rodríguez-Colunga, M.J., Coto-Montes, A. and Oliván, M. (2010). Eating quality of beef from biotypes included in the PGI “Ternera Asturiana” showing distinct physicochemical characteristics and tenderization pattern. *Meat Science*, 86, 343-351.
- Singh, V., Guizani, N., Al-Alawi, A., Claereboudt, M. and Rahman, M.S. (2013). Instrumental texture profile analysis (TPA) of date fruits as a function of its physico-chemical properties. *Industrial Crops and Products*, 50, 866-873.
- Sitz, B.M., Calkins, C.R., Feuz., D.M., Umberger, W.J. and Eskridge, K.M. (2005). Consumer sensory acceptance and value of domestic, Canadian, and Australian grass-fed beef steaks. *Journal of Animal Sciences*, 83, 2863-2868.
- Starkey, C.P., Geesink, G.H., Oddy, V.H. and Hopkins, D.L. (2015). Explaining the variation in lamb *Longissimus* shear force across and within ageing periods using protein degradation, sarcomere length and collagen characteristics. *Meat Science*, 105, 32-37.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. FAO, 465 p.
- Stone, H. and Sidel, V. L. (2004). *Sensory evaluation practices*. Ed. Academic Press, Nueva York, 408 p.
- Straadt, I.K., Rasmussen, M., Andersen, H.J. and Bertram, H.C. (2007). Aging-induced changes in microstructure and water distribution in fresh and cooked pork in relation to water-holding capacity and cooking loss – A combined confocal laser

- scanning microscopy (CLSM) and low-field nuclear magnetic resonance relaxation study. *Meat Science*, 75, 687-695.
- Suman, S.P. and Joseph, P. (2014). Color and pigment. En: Dikeman, M. y Devine, G. (Eds.), *Encyclopedia of meat sciences*, Academic Press, Londres, 244-251.
- Sundrum, A. (2001). Organic livestock farming - A critical review. *Livestock Production Science*, 67, 207-215.
- Swatland, H. J. (2003). Ellipsometry across isolated muscle fibres indicates a refractive contribution to paleness in pork. *Meat Science*, 63, 463-467.
- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28, 385-389.
- Szczesniak, A. S. and Torgeson, K.W. (1965). Methods of meat texture measurement viewed from the background of factors affecting tenderness. *Advances Food Research*, 14, 33-165.
- Taylor, R.G. and Goll, D.E. (1995). Enzyme localization during *post-mortem* muscle tenderization. *ECCEAMST*, 347-358.
- Tejerina, D., García-Torres, S., Cabeza de Vaca, M., Vázquez, F.M. and Cava, R. (2012a). Effect of production system on physical-chemical, antioxidant and fatty acids composition of *Longissimus dorsi* and *Serratus ventralis* muscles from Iberian pig. *Food Chemistry*, 133, 293-299.
- Tejerina, D., García-Torres, S. and Cava, R. (2012b). Water-holding capacity and instrumental texture properties of m. *Longissimus thoracis* and m. *Serratus ventralis* from Iberian pigs as affected by the production system. *Livestock Science*, 148, 46-51.
- Thompson, J. (2002). Managing meat tenderness. *Meat Science*, 62, 295-308.
- Tornberg, E. (1996). Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science*, 43, 175-191.
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins. Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70, 493-508.
- Torrescano, G., Sánchez-Escalante, A., Giménez, B., Roncales, P. and Beltrán, J.A. (2003). Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science*, 64, 85-91.
- Trout, G.R. (1988). Techniques for measuring water-binding capacity in muscle foods. A review of methodology. *Meat Science*, 23, 235-252.
- Umberger, W.J., Dillon, M.F., Calkins, C.R. and Killinger-Mann, K. (2002). U.S. consumer preference and willingness-to-pay for domestic corn-fed beef versus

- international grassfed beef measured through an experimental auction. *Agribusiness and International Journals*, 18, 491-504.
- UNE 87024-1 (1995). Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de jueces. Parte 1: Catadores. AENOR, Madrid.
- Valin, C. (1995). Animal and muscle variability in tenderization: Possible cause. *Ecceamst*, 435-442.
- Vestergaard, M., Therklidsen, M., Henckel, P., Jensen, L.R., Andersen, H.R. and Sejrsen, K. (2000). Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Science*, 54, 187-185.
- Viera, C. and Fernández, A.M. (2014). Effect of ageing time on suckling lamb meat quality resulting from different carcass chilling regimes. *Meat Science*, 96, 682-687.
- Wagenaar, J.P., Klocke, P., Butler, G., Smolders, G., Nielsen, J.H., Canever, A. and Leifert, C. (2011). Effect of production system, alternative treatments and calf rearing system on udder health in organic dairy cows. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 58, 157-162.
- Walkenhorst, M. (2005). Quality of organic livestock products. Systems development: quality and safety of organic livestock products. Proceedings of the 4th SAFO Workshop, Frick, Suiza, 229-239.
- Walsh, K., O'Kiely, P., Moloney, A.P. and Boland, T.M. (2007). Intake, performance and carcass characteristics of beef cattle offered diets based on wholecrop wheat or forage maize relative to grass silage or ad libitum concentrates. *Livestock Science*, 116, 223-236.
- Walshe, B.E., Sheehan, E.M., Delahunty, C.M., Morrissey, P.A. and Kerry, J.P. (2006). Composition, sensory and shelf life stability analyses of *Longissimus dorsi* muscle from steers reared under organic and conventional production systems. *Meat Science*, 73, 319-325.
- Warner-Bratzler, K.F. (1928). Progress report of the mechanical tenderness of meat. *Proceeding of the American Society Animal Production*, 21, 114-118.
- Warris, P. BD. (2000). *Meat Science*. CAI Publishing, Reino Unido, 310 p.

- Weaver, A.D., Bowker, B.C. and Gerrard, D.E. (2009). Sarcomere length influences μ -calpain-mediated proteolysis of bovine myofibrils. *Journal of Animal Science*, 87, 2096-2103.
- Wisner-Pedersen, J. (1994). Química de los tejidos animales. Parte 5: Agua. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Price J.F. y Schweigert B.S, Acribia. Zaragoza, 125 p.
- Wood, J., Richardson, R., Nute, G., Fisher, A., Campo, M., Kasapidou, E., Sheard, P. and Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.
- Wulf, D. M., Morgan, J.B. Tatum, J.D. and Smith, G.C. (1996). Effects of animal age, marbling score, calpastatin activity, sub-primal cut, calcium injection, and degree of doneness on the palatability of steaks from limousin steers. *Journal of Animal Science*, 74, 569-576.
- Yang, A., Brewster, M.J., Lanari, M.C. and Tume, R.K. (2002). Effect of vitamin E supplementation on α -tocopherol and β -carotene concentrations in tissues from pasture-and grain-fed cattle. *Meat Science*, 60, 35-40.
- Young, L.L., Northcutt, J.K., Buhr, R.J., Lyon, C.E. and Ware, G.O. (2001). Effects of age, sex and duration of *post-mortem* aging on percentage yield of parts from broiler chicken carcasses. *Poultry Science*, 80, 376-379.
- Young, O.A. and West, J. (2001). Meat color. En: *Meat Science and applications*, Marcel Dekker, Nueva York, 36-39.
- Zanoli, R. (2004). The European Consumer and Organic Food. *Organic Marketing Initiatives and Rural Development series: Volume 4*, Universidad de Gales, Reino Unido, 175.
- Zastawny, J., Jankowska-Huflejt, H. and Wrobel, B. (2005). Comparison of cattle production on organic and conventional farms in Poland. *Systems development: quality and safety of organic livestock products. Proceedings of the 4th SAFO Workshop*, Frick, Suiza, 207-216.
- Zhang, S.X., Farouk, M.M., Young, O.A., Wieliczko, K.J. and Podmore, C. (2005). Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Science*, 69, 765-772.
- Żochowska, J., Lachowicz, K., Gajowiecki, L., Kotowicz, M. and Żych, A. (2005). Effects of carcass weight and muscle on texture, structure and myofibre characteristics of wild boar meat. *Meat Science*, 71, 244-248.

Anexos.

Publicaciones
