

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA***

ESTABILIDAD DEL COLOR DE LA CARNE DE TERNERA

presentado por

IRANTZU GOENAGA UCEDA (e)k

aurkeztua

**INGENIERO AGRÓNOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA**

Junio de 2010

*A Mari Jose Beriain, directora del trabajo,
por haberme dado esta oportunidad,
y por su incondicional ayuda en todo momento.*

*A Kizkitza, por la cantidad de horas que me ha dedicado,
por su manera de trabajar
y por todas las cosas que he aprendido con ella.*

*A todo el grupo de Producción Animal,
por su profesionalidad y simpatía,
y, en especial, a Vicky y a Joxean,
por los buenos consejos que me han transmitido.*

*A mi aita y mi ama, José Miguel y Juana Mari,
a mis hermanas Idoia y Maite
y a mi abuela Soco,
por todo el cariño y comprensión que me han dado siempre.*

*De manera especial a Javi,
por su apoyo día a día y su infinita paciencia.*

*A mis compañeros y amigos, por todo el camino recorrido
y porque los esfuerzos merecen la pena.*

MILA ESKER GUZTIOI! GRACIAS A TODOS!

INDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINAS
ÍNDICE DE CONTENIDOS	i
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES	5
1. EL COLOR DE LA CARNE	5
1.1. LA MIOGLOBINA Y SUS ESTADOS QUÍMICOS	5
2. FACTORES DE LOS QUE DEPENDE EL COLOR DE LA CARNE	9
2.1. FACTORES ANTEMORTEM	9
2.1.1. Especie	9
2.1.2. Raza	9
2.1.3. Sexo	10
2.1.4. Edad	11
2.1.5. Alimentación	12
2.2. FACTORES POSTMORTEM	13
2.2.1. Desarrollo del <i>Rigor Mortis</i>	13
2.2.2. Velocidad de Enfriamiento	15
2.2.3. Sangrado	15
2.2.4. Estimulación Eléctrica	15
2.2.5. Maduración	16
2.2.6. Conservación	16
2.2.6.1. Temperatura	17
2.2.6.2. Iluminación	17
2.2.6.3. Exposición al Oxígeno del aire	18
2.2.6.4. Envasado	18
2.2.6.4.1. Envasado al vacío	19
2.2.6.4.2. Atmósfera modificada	20
2.2.6.4.3. Materiales de envase	21
3. DETERIORO DEL COLOR DE LA CARNE – FACTORES QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	
3.1. CONTAMINACIÓN MICROBIANA	23
3.2. OXIDACIÓN LIPÍDICA	24
4. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN DE LA APARIENCIA DE LA CARNE	26
4.1. MÉTODOS USUALES DE CONSERVACIÓN	26
4.1.1. Refrigeración	26
4.1.2. Congelación	27
4.2. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN EMERGENTES	27

4.2.1. Tratamiento de Alta Presión Hidrostática (APH)	27
4.2.2. Adición de Antimicrobianos naturales	28
4.2.3. Envasado Activo	29
4.2.3.1. Biopolímeros	30
4.2.4. Uso de Antioxidantes	30
5. TÉCNICAS DE MEDIDA DEL COLOR	33
5.1. ANÁLISIS QUÍMICO DEL CONTENIDO DE PIGMENTOS DE LA CARNE	33
5.2. ANÁLISIS INSTRUMENTAL DEL COLOR DE LA CARNE. EVALUACIÓN FÍSICA – ESPECTROCOLORÍMETRO DE REFLECTANCIA	34
CAPÍTULO III: OBJETIVOS	39
CAPÍTULO IV: MATERIAL Y MÉTODOS	41
1. MATERIAL ANIMAL	41
2. SACRIFICIO	42
3. TOMA DE MUESTRAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	42
4. MEDIDAS ANALÍTICAS	45
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
1. CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE OBTENIDA DE TERNEROS ALIMENTADOS CON DIETA DE ALTA Y BAJA ENERGÍA	50
2. ESTUDIO DEL BLOOMING O AIREACIÓN DE LA CARNE Y SU MADURACIÓN EN LAS COORDENADAS DE COLOR $L^*a^*b^*$	51
3. EFECTO DE LA INTERACCIÓN DE LOS FACTORES DIETA Y MADURACIÓN DE LA CARNE	55
3.1. EN LAS COORDENADAS DE COLOR	55
3.2. EN LOS PIGMENTOS DE LA CARNE	57
4. EFECTO DE LA VIDA ÚTIL Y DEL TRATAMIENTO DE LA CARNE	58
4.1. EN LAS COORDENADAS DE COLOR	58
4.2. EN LOS PIGMENTOS DE LA CARNE	63
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	68
CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA	70
CAPÍTULO VIII: ANEXOS	82

INDICE DE TABLAS

	PÁGINAS
Tabla 1: Diferencias en el contenido de mioglobina entre especies _____	9
Tabla 2: Coordenadas L*a*b* del color de la carne de añojos de siete razas bovinas españolas _____	10
Tabla 3: Materias primas de las dietas A, B1 y B2 _____	41
Tabla 4: Composición de los nutrientes de las dietas A y B _____	41
Tabla 5: Consumo de los animales en cada dieta _____	42
Tabla 6: Valores de referencia de K/S calculados para el 100% de cada uno de los tres pigmentos _____	47
Tabla 7: Descripción de los Terneros _____	50
Tabla 8: Efecto de la dieta y la maduración en las coordenadas de color L*a*b* _____	55
Tabla 9: Media y error estándar de las coordenadas de color L*a*b* en función de la dieta y la maduración _____	55
Tabla 10: Efecto de la dieta y la maduración en los pigmentos de la carne _____	57
Tabla 11: Media y error estándar de los pigmentos de la carne en función de la dieta y la maduración _____	57
Tabla 12: Efectos principales de estudio en las coordenadas de color L*a*b* para cada una de las dietas _____	59
Tabla 13: Media y error estándar de los parámetros de color L*a*b* durante la vida útil para la carne madurada 8 y 14 días. Efecto de los tratamientos _____	60
Tabla 14: Efectos principales de estudio en los pigmentos de color de la carne para cada una de las dietas _____	63
Tabla 15: Media y error estándar de los pigmentos de la carne durante la vida útil para la carne madurada 8 y 14 días. Efecto de los tratamientos _____	64

INDICE DE FIGURAS

PÁGINAS

Figuras 1 y 2: Estructura de la Mioglobina. Grupo hemo y segmentos en hélice- α	5
Figura 3: Esquema de la molécula de mioglobina y sus formas	6
Figura 4: Reacciones químicas que ocurren entre los tres estados de la mioglobina	6
Figura 5: Representación del contenido de pigmentos en función de la presencia de oxígeno	7
Figura 6: Espectro de reflectancia de las tres formas químicas de la mioglobina	8
Figura 7: Luminosidad del músculo de ambos sexos para los tres cruzamientos estudiados. P: Parda Alpina; CH: Charolés; L: Limousine	11
Figura 8: Representación de las coordenadas cromáticas a^* y b^* del músculo	11
Figura 9: Apariencia visual de Carne PSE	14
Figura 10: Apariencia visual de Carne normal	14
Figura 11: Apariencia visual de Carne DFD	14
Figura 12: Evolución del pH post-mortem de la carne	14
Figura 13: Mecanismo de la oxidación, terminación con antioxidante	24
Figuras 14 y 15: Técnicos del IRTA de Monells, (Girona) realizando un ensayo del tratamiento de alta presión hidrostática para carne y productos cárnicos	28
Figura 16: Muestra de jamón cocido envasado entre láminas de alginato	30
Figura 17: Muestra de jamón cocido envasado entre láminas de polivinil alcohol	30
Figura 18: Muestra de jamón cocido envasado entre láminas de zeína	30
Figura 19: Distribución tridimensional del sólido de color. Relación entre tono, luminosidad y saturación	35
Figura 20: Distribución tridimensional del sólido de colores	35
Figura 21: Representación del sólido de colores para el espacio $L^*a^*b^*$	35
Figura 22: Diagrama de cromaticidad de a^* y b^* , sólido de colores cortado en un valor constante de L^*	35
Figura 23: Vista de la cromaticidad frente a la luminosidad en un corte del sólido de colores	36
Figura 24: Fileteado del lomo posterior	42
Figura 25: Diseño experimental del análisis realizado	43
Figura 26: Espectrocolorímetro Minolta CM 2002 utilizado en el estudio	43
Figura 27: Muestras de vida útil en film permeable al O_2	44
Figura 28: Muestras de vida útil en ATM	44
Figura 29: Equipo de envasado	44
Figura 30: Expositor con luz de la planta piloto	45
Figura 31: Cámara frigorífica de la planta piloto	45
Figura 32: Evolución de la coordenada de color L^* con el tiempo durante el Blooming 24h <i>postmortem</i>	52
Figura 33: Evolución de la coordenada de color a^* con el tiempo durante el Blooming 24h <i>postmortem</i>	53
Figura 34: Evolución de la coordenada de color b^* con el tiempo durante el Blooming 24h <i>postmortem</i>	53
Figura 35: Evolución de la coordenada de color L^* con el tiempo durante el Blooming 8d	54
Figura 36: Evolución de la coordenada de color a^* con el tiempo durante el Blooming 8d	54
Figura 37: Evolución de la coordenada de color b^* con el tiempo durante el	54

Blooming 8d	54
Figura 38: Evolución de la coordenada a* de color durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B	61
Figura 39: Evolución de la coordenada b* de color durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B	62
Figura 40: Evolución del porcentaje de MMb durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B	65
Figura 41: Evolución del porcentaje de MbO ₂ durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B	65
Figura 42: Resultado de un primer análisis de TBA para carne madurada 8 días en ATM y en film permeable al oxígeno	66

RESUMEN

En el presente trabajo fin de carrera se ha estudiado la vida útil y la estabilidad del color de la carne de ternera de animales alimentados con distintas dietas energéticas, bajo diferentes condiciones de tratamiento y conservación de la carne.

Para ello se han empleado ocho terneros machos de raza Pirenaica. Hasta los 12 meses todos ellos estuvieron alimentados con la misma ración. Desde ese momento hasta la edad de sacrificio, 18 meses, cuatro de ellos fueron alimentados con una dieta energética y los cuatro restantes con una dieta de menor valor energético. Todos ellos fueron sacrificados en el mes de octubre de 2009, con un peso canal medio de 523 Kg para los animales de dieta de alta energía y 510 Kg para los de baja.

Veinticuatro horas post-mortem se extrajo el músculo *Longissimus lumborum* de la media canal izquierda y fue fileteado. Se tomaron muestras para estudiar su composición química (pigmentos, porcentaje de grasa y humedad), y se congelaron inmediatamente.

Con la carne en fresco se realizó el estudio de pH; un análisis de *blooming* o aireación con carne de 1 y 8 días de maduración; y un estudio de la vida útil, con carne madurada 8 y 14 días, y conservada posteriormente 2 y 7 días en atmósfera modificada (80% O₂ + 20% CO₂) y en film permeable al oxígeno. El estudio de la estabilidad de color se llevó a cabo mediante la medida de las coordenadas L*a*b* y el cálculo del porcentaje de pigmentos.

Las propiedades del color de la carne variaron significativamente según la dieta suministrada a los terneros.

En el estudio de *blooming* se observó como la coordenada L* experimenta menos variación que a* y b*. Así mismo, alcanza la estabilidad en torno a los 60 minutos, mientras que a* y b* a los 90 minutos aproximadamente. Con la carne madurada, las coordenadas de color presentaron mayor variabilidad en los valores y en el tiempo de *blooming*.

En la dieta de alta energía, la maduración resultó muy significativa, y se observó que con el tiempo de maduración, la carne presenta menor luminosidad (<L*), mayor coordenada a* y mayor coordenada b*. En ambas dietas los pigmentos siguieron el mismo comportamiento. Se observó un incremento en deoximioglobina y un descenso en oximioglobina y metamioglobina con la maduración, siendo los cambios más notables en los primeros 8 días de maduración.

La vida útil de la carne de ternera presentó un efecto muy significativo en los parámetros de color. Al deteriorarse la carne, debido a la aparición de un tono apagado y oscuro, disminuyen las coordenadas a* y b* y aumenta el contenido de metamioglobina. Con la carne madurada el deterioro se produce de una manera más rápida.

Entre los tratamientos de conservación de atmósfera modificada y film permeable al oxígeno, no se produjeron grandes diferencias. Aunque la carne experimentó una mayor oxidación en los envases con atmósfera modificada debido a una concentración de oxígeno más elevada en comparación a la envasada con film permeable al oxígeno.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La carne es una de las mejores y principales fuentes de proteína para la alimentación, (Wulf *et al.*, 1997), y es un alimento consumido por el ser humano desde la antigüedad. Con el paso del tiempo su consumo ha ido cambiando, especialmente en las últimas décadas. En el siglo XX, las características de la demanda han ido pasando por diferentes etapas: durante los años 60 y 70 se solicitaba mayor cantidad de carne para consumo; durante la década de los 80, se deseaban canales más magras y mayor porcentaje de piezas nobles; y es a partir de la década de los 90 (con un mercado saturado), cuando el consumidor empieza a demandar calidad. En la actualidad, el mercado además de calidad, exige trazabilidad, con el objetivo principal de tener un seguimiento de la carne en todo el proceso productivo y de venta, tanto para información como para seguridad alimentaria.

El consumo de carnes frescas se ha incrementado en un 1,6% anual en el intervalo 1998-2008, siendo el aumento de carne de vacuno de un 1,9% (mapa, 2008). Ésta última, ocupa el 18% del volumen total de carnes frescas consumidas y el 27% del valor económico total. Se estima que la media de carne de vacuno consumida en España es de 7,22 Kg por persona y año, siendo este hecho dependiente de la comunidad autónoma.

La producción de carne de vacuno en España es un elemento fundamental dentro del marco ganadero. Sin embargo, el producto que sale al mercado no siempre se corresponde con las exigencias del consumidor y, en algunos casos, tampoco con las del productor primario. En éste ámbito, surge la necesidad de estandarizar los parámetros de calidad de la carne. Con ello, el productor, desde el origen de la cadena productiva, podrá llevar a cabo unas prácticas de manejo (alimentación, cuidados, necesidades...), para alcanzar la meta de calidad deseada. Así mismo, el consumidor, conocerá ese criterio de calidad en su opción de compra.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación más amplio, en el que se incluye entre otros este objetivo, estudiar diferentes parámetros de calidad para la carne de ternera.

Además, el producto estudiado tiene gran importancia y demanda por parte del consumidor en Navarra. Se trata de carne de ternera de raza Pirenaica, por lo que asimismo, debe reunir una serie de características de calidad, ya que pertenece a la *IGP* (Indicación Geográfica Protegida) Ternera de Navarra-*Nafarroako Aratxea*. La *IGP* relaciona la calidad con el medio donde se produce y la raza animal, y establece un riguroso seguimiento de los terneros desde el nacimiento, supervisando el origen, raza, crianza, alimentación, sanidad, transporte, sacrificio, despiece y distribución.

El estudio de la calidad de la carne está particularmente definido por su composición nutricional y por sus características organolépticas tales como la textura, el color, el sabor y la jugosidad. Dentro de ellos, el color ocupa un lugar preferente entre los factores que definen la calidad del alimento, y es uno de los parámetros de calidad que más influyen en la decisión de compra del consumidor (Hui *et al.*, 2006).

Por todo ello, el estudio de la **estabilidad de color** en la carne como parámetro de calidad, será objeto importante de estudio en el presente trabajo.

CAPITULO II: ANTECEDENTES

ANTECEDENTES

1. EL COLOR DE LA CARNE

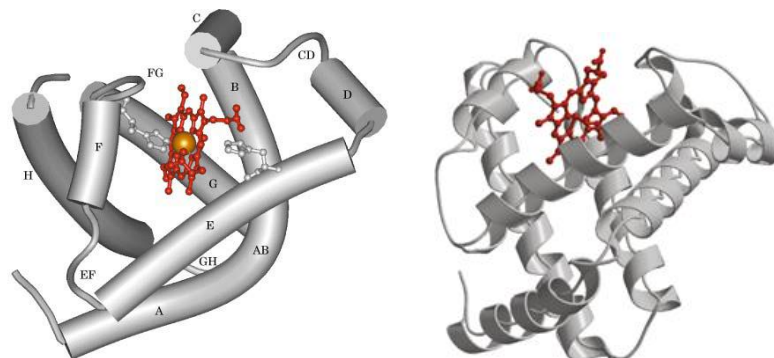
La calidad de la carne bovina esta particularmente definida por su composición química (valor nutricional) y por sus características organolépticas (valor sensorial) tales como la textura, el color, el sabor y la jugosidad.

El color es el factor que más afecta al aspecto de la carne y de los productos cárnicos durante su almacenamiento, y el que más influye en la preferencia de los consumidores (Pérez y Andújar, 2008). Por lo que la alteración del color durante todo el ciclo de producción-venta, será objeto importante de estudio.

1.1 LA MIOGLOBINA Y SUS ESTADOS QUÍMICOS

El color de la carne depende de la cantidad y estado químico de los pigmentos, proteínas y seroplásmicas, hemoglobina, mioglobina y citocromos. La hemoglobina no representa más de 5-12 p.100 de los pigmentos hemínicos totales en condiciones correctas de sangrado animal (Renerre, 1981) y posee propiedades espectrales muy similares a las de la mioglobina, (MacDougall, 1982). Por su parte, los citocromos son hemoproteínas con función en la cadena transportadora de electrones en la respiración celular, pero su concentración es tan pequeña que no contribuyen al color del músculo (Ledward, 1985). Por lo que se permite hablar del color de la carne únicamente en términos de mioglobina.

La mioglobina (Fig.1y2) es una proteína globular que contiene una sola cadena polipeptídica, constituida por ocho segmentos de hélice- α , y un componente no proteico (grupo prostético), denominado grupo hemo que permite la oxigenación y desoxigenación de forma reversible. El grupo hemo es un sistema de anillos tetrapirrólico que se denomina protoporfirina IX que contiene hierro (II), este grupo está unido de forma no covalente en una hendidura hidrofóbica de la molécula de mioglobina. El Fe (II) presenta una coordinación octaédrica, cuatro ligandos corresponden al sistema tetrapirrólico, otro lo realiza con una residuo de histidina (His F8) y el octavo ligando lo realiza con el oxígeno cuando la mioglobina está oxigenada, a su vez el oxígeno se coordina con otra histidina (His E7). La función fisiológica de la mioglobina en el músculo es de almacenamiento y entrega del oxígeno necesario para el funcionamiento del mismo.



Figuras 1 y 2. Estructura de la Mioglobina donde se aprecia el grupo hemo (en rojo) y los ocho segmentos en hélice- α . Fuente: Vígara *et al.*, 2007.

En la carne fresca, la mioglobina puede encontrarse en tres diferentes estados químicos (Fig.3), según la fase de oxidación del hierro y de los ligandos que se unan a sus enlaces libres. Así encontramos:

- **Deoximioglobina** o mioglobina reducida (**Mb**): se da cuando el hierro se encuentra en su forma reducida (Fe^{2+}) y no tiene ningún otro ligando. Una pieza de carne en la que el pigmento dominante sea la deoximioglobina, presentará un color rojo púrpura.
- **Oximioglobina** (**MbO₂**): cuando el oxígeno se encuentra como ligando del átomo de hierro, y éste último presenta su estado ferroso (Fe^{2+}). La oximioglobina es el pigmento responsable del color rojo brillante de la carne fresca.
- **Metamioglobina** (**MMb**): cuando el átomo de hierro se oxida a Fe^{3+} y se une una molécula de agua, aparece el color pardo o marrón.

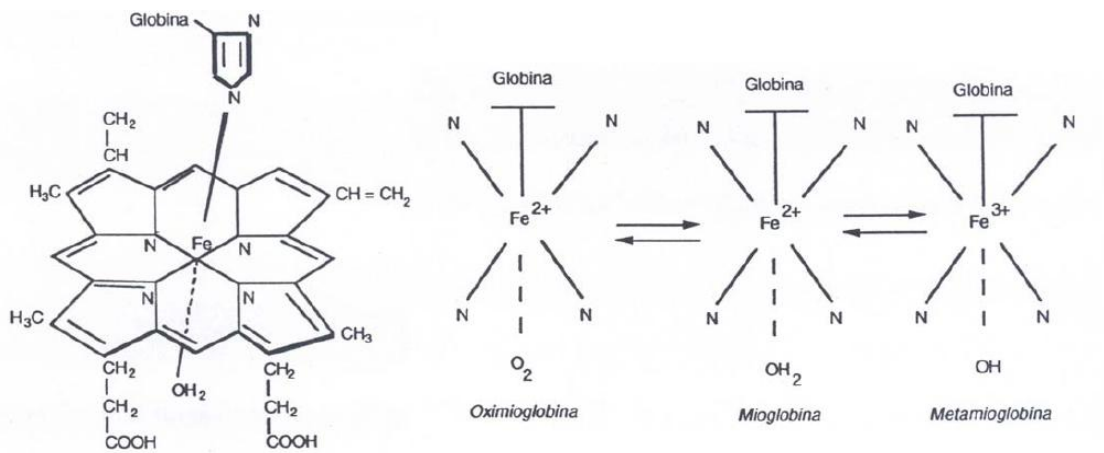


Figura 3. Esquema de la molécula de mioglobina y sus formas. Fuente: Santoyo,S., 2008

En la superficie de la carne y en presencia de oxígeno, se encuentran en equilibrio dinámico los tres estados químicos de la mioglobina (Fig. 4). El color de la carne está determinado por el estado que predomine en cada momento (Eagerman *et al.*, 1977).

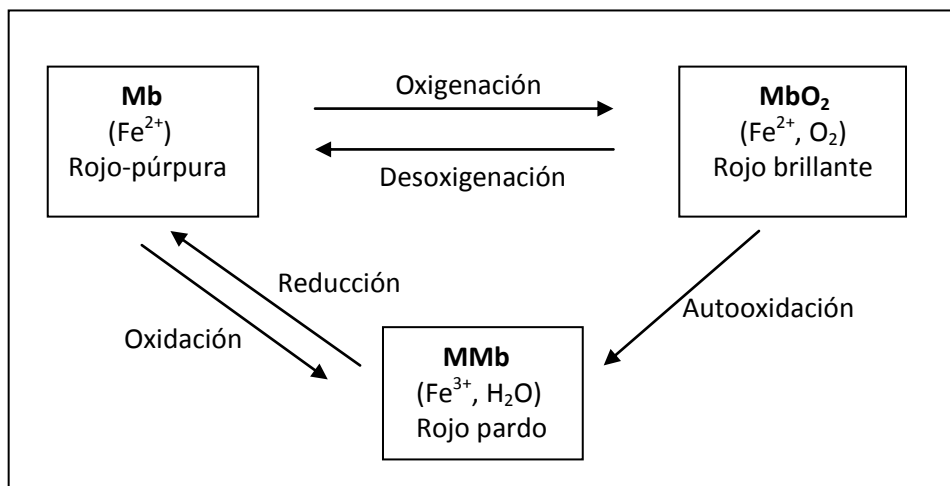


Figura 4. Reacciones químicas que ocurren entre los tres estados de la mioglobina Fuente: Elaboración propia

Cuando la carne está en contacto con el oxígeno, forma oximioglobina, éste le otorga a la carne un color rojo brillante, en cambio en ausencia de oxígeno exhibe un color rojo oscuro o púrpura (deoximioglobina). El almacenamiento prolongado en presencia de aire induce la oxidación de la mioglobina dando origen a un compuesto (metamioglobina) que le imprime un color rojo pardo o marrónáceo a la carne. La evolución del porcentaje de cada pigmento con la presencia de oxígeno se representa en la Fig.5.

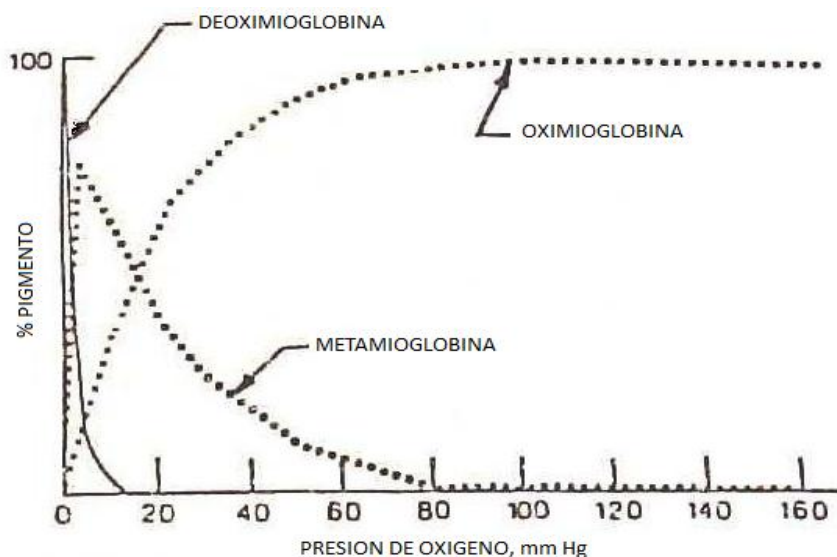


Figura 5. Representación del contenido de pigmentos en función de la presencia de O₂.
Fuente: Faustman, 1990.

La disponibilidad del oxígeno viene determinada por la penetración del mismo en el músculo, en función de su difusión y de la captación por parte de las enzimas respiratorias (O'Keefe y Hood, 1982).

Cuando la actividad respiratoria es elevada, el oxígeno penetra débilmente en la carne y no está disponible para la oxigenación de la mioglobina, produciéndose una débil capa de MbO₂. En el punto límite de penetración se dan las condiciones adecuadas para que se forme MMb (bajas presiones parciales de oxígeno). Cuanto más profunda se produzca esta capa de MMb (a mayor difusión del oxígeno) más tiempo tardará en oxidarse la superficie (Madhavi y Carpenter, 1993), ya que la oximioglobina es más estable a mayor oxigenación (Millar *et al.*, 1996) y la oxidación de la carne en fresco se produce de dentro hacia afuera. Así, en general, los músculos con menor estabilidad del color tienden a presentar mayor velocidad de consumo de oxígeno (O'Keefe y Hood, 1982; Renerre y Labas, 1987; Echevarne *et al.*, 1990; Lanari y Cassens, 1991).

Por otra parte, la actividad del sistema reductor también se ha demostrado que es menos efectiva en los músculos de color más inestable (Echevarne *et al.*, 1990; Lanari y Cassens, 1991; Madhavi y Carpenter, 1993; Renerre *et al.*, 1996). Su actividad va disminuyendo gradualmente con el tiempo (Ledward *et al.*, 1977), siendo más rápida en los músculos de color más inestable (Echevarne *et al.*, 1990).

Cada uno de los tres estados químicos de la mioglobina presenta un espectro de reflectancia característico que puede observarse en la Fig.6.

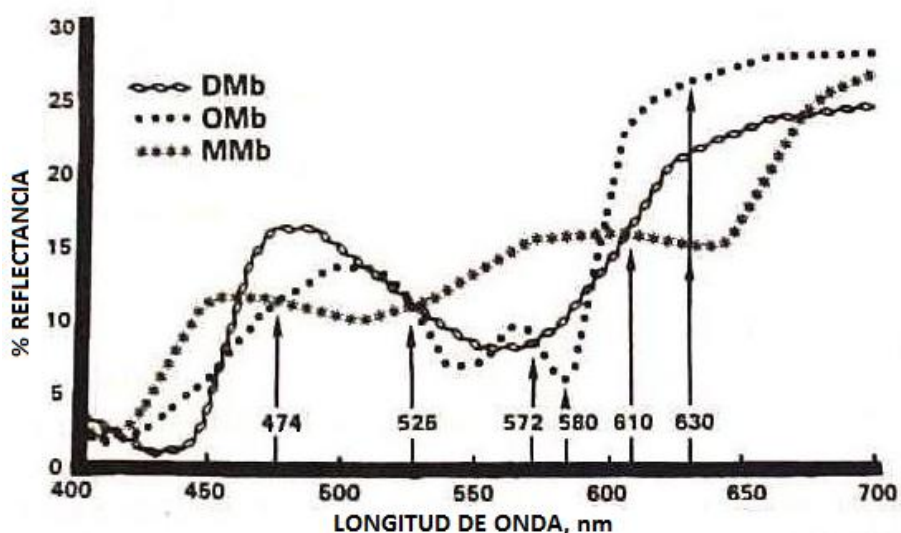


Figura 6. Espectro de reflectancia de las tres formas químicas de la mioglobina.
Fuente: Hunt *et al.*, 1999.

La Mb presenta un espectro característico del color rojo púrpura con un pico en la zona de los rojos y otro más pequeño en la de los azules. Cuando la mioglobina reducida se une a la molécula de oxígeno el espectro se desplaza ligeramente hacia la zona de los rojos, disminuyendo la reflectancia a longitudes de onda cortas y aumentando en la zona de los rojos (>600 nm). Además, aparecen dos mínimos relativos de reflectancia entre 535 y 545 nm y 575 y 588 nm característicos de los enlaces covalentes (MacDougall, 1982). El espectro de la metamioglobina presenta menor reflectancia en la zona de los rojos y una depresión característica entre 610-640 nm.

Los puntos de coincidencia de los espectros de los diferentes pigmentos se denominan puntos isobéuticos. A 525 nm existe un punto isobéutico de los tres pigmentos, otros puntos isobéuticos aparecen a 572 nm entre MbO₂ y Mb, a 610 nm entre Mb y MMb y a 474 nm entre MMb y MbO₂ (Stewart *et al.*, 1965).

2. FACTORES DE LOS QUE DEPENDE EL COLOR DE LA CARNE.

Además de la asociación entre los pigmentos químicos de la mioglobina estudiados en el apartado anterior, el color de la carne se ve influido por múltiples factores interactuantes entre sí. Los factores *antemortem* como son: la especie, raza y el sexo del animal, la dieta que recibe, edad, así como el transporte y estrés antes del sacrificio; los factores del sacrificio como: el desarrollo del *rigor mortis*, la velocidad de enfriamiento, el sangrado y la estimulación eléctrica; y los factores *postmortem*, derivados del tratamiento tecnológico que se aplique a la carne tanto durante la maduración como en la conservación posterior.

2.1 FACTORES ANTEMORTEM:

2.1.1 ESPECIE

La composición, susceptibilidad oxidativa y contenido muscular de la mioglobina difiere con las especies, tal y como se muestra en la Tabla 1, (Livingston y Brown, 1981).

Tabla 1. Diferencias en el contenido de mioglobina entre especies

ESPECIE	mg de mioglobina/g de carne fresca
Vacuno	15
Ovino	10
Porcino	5
Aves	<5

Fuente: Livingston y Brown, 1981

Las carnes de aves tienen un color más claro que las de mamíferos, que son más oscuras y de color más rojizo. La razón de esta diferencia es el tipo de fibra muscular del que se componen, que es diferente en las aves y en los grandes mamíferos, debido a la mayor intensidad del trabajo que soporta la musculatura de estos últimos. Existen básicamente dos tipos de fibras musculares, las pertenecientes a los músculos que desarrollan un trabajo explosivo (fibras blancas) y aquellas que desarrollan un trabajo lento y repetitivo (fibras rojas). Los músculos de fibra blanca se encuentran mayoritariamente en aves, que necesitan rápidos movimientos, mientras que los grandes mamíferos poseen músculos de fibra roja necesarios para soportar grandes esfuerzos.

La carne de bovino consume menos oxígeno que la de ovino y se conserva mejor (Atkinson y Follet, 1973). Lawrie (1985) muestra cómo las diferencias de cantidad de Mb en el músculo *Longissimus Dorsi* pueden explicar, en parte, las diferencias de color de las carnes.

En vacunos el color normal de la carne es rojo púrpura o también rojo cereza brillante, pero se trata de un parámetro muy variante y que depende de muchos factores, tal y como se va a estudiar en este capítulo.

2.1.2 RAZA

Dentro del género vacuno, el color de la carne puede variar con la raza y con la aptitud productiva del animal (Boccard y Bordes, 1986). Esta diferenciación podría ser explicada por la mayor precocidad en el desarrollo de las razas lecheras frente a las cárnicas, presentando los animales más precoces mayor cantidad de pigmentos. De esta forma, a igual peso vivo la

cantidad de pigmentos es superior en los animales de raza Frisona que en los de raza Charolesa (Renner, 1982). Si se sacrifican con el mismo grado de madurez, medido como porcentaje del peso vivo adulto, no se encuentran diferencias raciales (Renner, 1982).

Por otra parte, también se ha descrito menor estabilidad del color de la carne de los animales de raza Frisona que la de la carne procedentes de razas cárnicas (Faustman y Cassens, 1990; Lanari y Cassens, 1991).

Un estudio presentado por la Facultad de Veterinaria y el Servicio de Investigación Agroalimentaria (DGA) de Zaragoza (1998), compara la calidad instrumental de siete razas bovinas españolas (Asturiana de los Valles, Avileña-Negra Ibérica, Morucha, Parda Alpina, Pirenaica, Retinta y Rubia Gallega), determinando también las coordenadas de color para dicha carne. En el siguiente cuadro se resumen las diferencias entre los datos obtenidos:

Tabla 2. Coordenadas L*a*b* del color de la carne de añajos de siete razas bovinas españolas.

	AS	AV	MO	PA	PI	RE	RG
Carne ¹							
L*	39,9 ^{ab}	39,0 ^{ab}	38,5 ^b	39,3 ^{ab}	41,1 ^a	39,7 ^{ab}	40,9 ^a
a*	16,9 ^{ab}	17,4 ^{ab}	17,8 ^a	15,9 ^b	15,9 ^b	17,5 ^{ab}	15,8 ^b
b*	9,7 ^{ab}	9,5 ^{ab}	9,8 ^{bc}	8,8 ^b	10,0 ^{ab}	10,4 ^a	9,7 ^{ab}
Saturación	19,5 ^{ab}	19,9 ^{ab}	20,3 ^a	18,2 ^b	18,8 ^{ab}	20,5 ^a	18,6 ^{ab}
Tono	29,9 ^{ab}	28,7 ^b	28,9 ^b	29,1 ^b	32,2 ^a	30,6 ^{ab}	31,4 ^{ab}

AS=Asturiana de los Valles; AV=Avileña-Negra Ibérica; MO=Morucha; PA=Parda Alpina; PI=Pirenaica; RE=Retinta; RG=Rubia Gallega.

Distintas letras dentro de la misma fila indican diferencias significativas (p<0,05)

¹Color medido tras 24 h de oxigenación del músculo *Longissimus dorsi*, 48 h tras el faenado.

²Color medido 24 h tras el faenado.

Fuente: Archivos de zootecnia vol. 48, núm. 168-169, p. 399 (1998)

Las razas PI, RG y AS presentaron los menores contenidos de pigmentos hemínicos (2,7; 3,0 y 3,1 mg mioglobina/g músculo respectivamente) frente a la raza MO, que tuvo el contenido más elevado (4,5 mg/g). Esto provocó una coloración más oscura en la carne de MO respecto al resto, puesto que uno de los factores que afectan al color es el contenido de pigmentos del músculo (Monin, 1991).

Así, a las 24 horas tras el corte del lomo, dicha raza mostró una menor luminosidad (L*38,5) y un mayor índice de rojo (a* 17,8) que el resto de razas, especialmente PI y RG, las cuales tuvieron las carnes más claras (L*41,1 y 40,9 respectivamente) y el índice de rojo más bajo (a* 15,9 y 15,8 respectivamente). El carácter más nervioso de la raza MO y su mayor precocidad pudieron influir en estas diferencias.

2.1.3 SEXO

Otro de los factores que tienen influencia sobre el color de la carne es el sexo de los animales. Las hembras suelen presentar mayor concentración de mioglobina que los machos a una misma edad debido a que son más precoces (Renner y Valin, 1979), aunque otros autores

señalan un mayor contenido en pigmentos en los machos que en las hembras (Forrest *et al.*, 1979).

Por otra parte, Wulf *et al.* (1997) encuentran valores superiores de coordenadas roja (a^*) y amarilla (b^*) en la carne de machos que de hembras, no existiendo diferencias en la Luminosidad (L^*).

Así mismo, Ronda *et al.*, (2006), realizaron un estudio sobre la textura y el color de la carne de vacuno de los dos sexos, y no encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) de ningún atributo del color en función del sexo. Esto indicaba que las diferencias entre sexos eran pequeñas o, al menos, entre los animales de la misma raza, criados en el mismo régimen de explotación y sacrificados a la misma edad. En la Fig.7 se representan los datos de luminosidad (L^*) del músculo tomados en ese estudio, para los diferentes cruzamientos ensayados. Como se ha indicado no se obtuvieron diferencias significativas entre terneros machos y hembras. En la Fig.8 se representan los valores de a^* y b^* , entre los que tampoco hubo diferencias significativas.

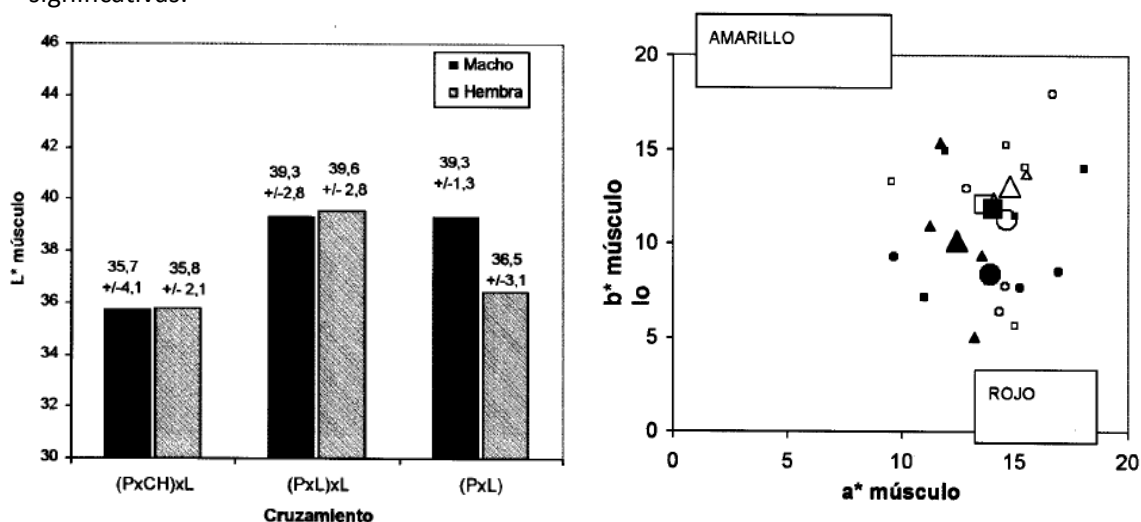


Figura 7. Luminosidad del músculo de ambos sexos para los tres cruzamientos estudiados. P: Parda Alpina; CH: Charolés; L: Limousine. Figura 8. Representación de las coordenadas cromáticas a^* y b^* del músculo. Los puntos huecos representan a las hembras y los puntos rellenos a los machos. Las diferentes formas son los distintos cruzamientos. Fuente: Ronda *et al.*, 2006.

2.1.4 EDAD

Los animales más viejos presentan mayor cantidad de mioglobina que los jóvenes dando un color más oscuro a la carne, (Lawrie, 1977). Con la edad, sobre todo en animales que consumen pastos, se depositan pigmentos carotenoides en la grasa, y ésta va cambiando del color blanco al amarillo. Estas diferencias se acentúan aún más cuando se analizan animales que han consumido granos ya que estos últimos presentan niveles de carotenos (< 5 ppm) muy inferiores a los de pastos (> 500 ppm).

Además, con el incremento de edad disminuye la estabilidad del color, sobre todo en aquellos músculos en los que el color es poco estable, como el *Gluteus medius* (Renerre y Valin, 1979; Renerre, 1982; Renerre *et al.*, 1996).

2.1.5 ALIMENTACIÓN

La alimentación de los animales juega un papel muy importante en la calidad de la carne obtenida, ya que los alimentos ingeridos son la fuente a partir de la cual los animales reciben los nutrientes necesarios para el metabolismo, determinando con ello, la composición tisular de la canal y la composición química de la carne.

El tipo y cantidad de los alimentos suministrados, el aporte de nutrientes y sus interrelaciones, y los aditivos incluidos en la ración influyen en aspectos tales como el rendimiento de la canal, el estado de engrasamiento, el color, olor y terneza de la carne, la consistencia y el color de la grasa, etc. (Beriaín, 1998; Owens y Gardner, 1999).

Por tanto, la alimentación y el tipo de sistema de producción tienen efectos notorios en el color de la carne, de forma que los animales criados en régimen intensivo suelen presentar coloraciones de la carne más claras, dado que realizan menos ejercicio físico y que los planos de nutrición altos provocan mayor deposición de grasa entre las fibras musculares, ofreciendo una apariencia más luminosa. Por el contrario, los animales criados en régimen extensivos o los alimentados con altas cantidades de forraje presentan una mayor concentración de pigmentos y, por tanto, la carne tiende a ser más oscura.

Las dietas lácteas, por su carencia en hierro, originan carnes claras (Renerre, 1981). Esto se debe a que el hierro forma parte de la molécula de mioglobina, y un déficit en este elemento ocasiona una coloración más clara de la carne, como es el caso de los terneros lechales.

Miltenburg *et al.* (1992) encontraron un efecto significativo del contenido en hierro de la dieta de terneros de leche, presentando mayores valores de coordenada roja (a^*) aquellos que recibieron mayor aporte del mismo.

Por otra parte, un plano de alimentación energética elevado disminuye la concentración de pigmentos hemínicos (Lawrie, 1977), no habiéndose encontrado diferencias en el color de la carne entre dietas con diferentes niveles de proteína (Berge *et al.*, 1993). La sustitución de lípidos por almidón en la dieta tiende a aumentar el color rojo de la carne (Valin *et al.*, 1978).

La utilización de granos en la dieta incrementa las tasas de crecimiento y engrasamiento, permitiendo sacrificar animales de menor edad.

Cerdeño *et al.* (2003) no encontraron diferencias estadísticamente significativas en el color de la carne entre grupos de terneros que habían recibido lactancia natural hasta los siete meses de edad y grupos con lactancia artificial y destete temprano.

El contenido de grasa intramuscular también sería responsable, en parte, de las diferencias en la luminosidad de la carne. El incremento en la grasa intramuscular, que se da cuando se alimenta al animal con granos, está asociado al color blanco que presentaría cierta claridad en la carne haciéndola distinta de la proveniente de sistemas pastoriles. El color amarillo de la grasa se debe a los pigmentos carotenoides ingeridos con los alimentos, presentes en mayor cantidad en los forrajes verdes o en alimentos como el maíz.

Un estudio realizado por la Estación Agrícola Experimental de León en 2003, revela que uno de los problemas en la carne de los animales que han permanecido en pastoreo, es que puede provocar una coloración excesivamente amarilla de la grasa, característica rechazable por el consumidor, y para ello propone que los animales tengan un periodo de acabado de

corta duración (60 días) y un consumo de concentrado en cantidad suficiente para asegurar que la carne resulte más atractiva.

Realizaron un ensayo con dos grupos de terneros provenientes del pasto que recibieron dos tipos de dietas, una de ellas consistente en 4 kg de concentrado por ternero y día y la otra pienso a libre disposición, *ad libitum*. El resultado fue que el color de la carne no varió por efecto de la cantidad de concentrado consumido por los animales. Ello indica que el consumo de 4 kg por animal y día de concentrado durante 60 días sería suficiente para asegurar que el color resulta igual de aceptable que el de animales que consumen pienso *ad libitum*.

2.2 FACTORES POSTMORTEM:

2.2.1 DESARROLLO DEL RIGOR MORTIS

Tras el sacrificio del animal cesa la circulación sanguínea lo que conlleva una serie de cambios: cesa el aporte de oxígeno, cesa la regulación hormonal (disminuye la temperatura de la canal), cesa la regulación del sistema retículo endotelial con lo que cesa la capacidad de respuesta del organismo frente a una infección.

En ausencia de oxígeno no existen las condiciones de potencial de oxidación-reducción que deben darse para que se lleven a cabo los procesos metabólicos típicos: aerobios. Ante este déficit de oxígeno comienza la glucólisis anaerobia, disminuyendo la formación de ATP (estado de *rigor mortis*) y produciendo ácido láctico. El ácido láctico produce una disminución del pH, esta disminución produce la desnaturalización proteica, facilitando la degradación de las proteínas fundamentalmente por proteasas: ácidas (catepsina B y D) y neutras (factor activado por el calcio - CAF). La desnaturalización proteica favorece la exudación, es decir la liberación de agua. Las proteínas desnaturalizadas no son capaces de mantener el agua ligada. Una bajada de pH hasta 5,4 coincidirá con el punto isoelectrónico de las proteínas cárnicas. El rendimiento energético de la glucólisis anaeróbica es mucho menor.

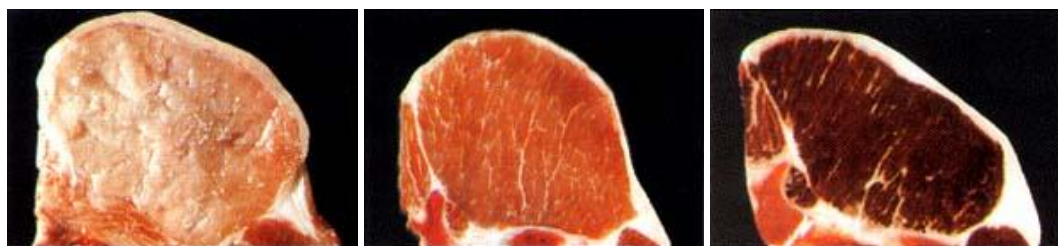
El *rigor mortis* es un estado de contracción permanente e irreversible del tejido muscular. Se establecen las uniones actina-miosina a nivel miofibrilar. Para la contracción muscular es necesaria una disminución en los niveles de ATP y un aumento de los niveles de calcio, estas dos condiciones se producen cuando se instala el *rigor mortis*. Es irreversible porque el músculo nunca dispondrá de ATP suficiente para romper los complejos. El color dependerá de la mioglobina, y a su vez la cantidad de mioglobina dependerá de la mayor o menor actividad de las proteasas. A menor nivel de oxígeno se afectará el color, jugosidad y textura.

Por tanto, como afirmaron Cridge *et al.*, (1994), el sacrificio del animal influye en el pH de la carne y éste a su vez en el color de la misma, tanto por su evolución durante el periodo *post-mortem*, como por el valor final del mismo (aproximadamente a las 24h tras el sacrificio).

Así pues, tomándose como indicador la curva de evolución del pH *post-mortem* (Fig.12), que se define por el pH_1 (pH a los 45' del sacrificio) y el pH_u (pH último o pH medido a las 24 horas del sacrificio), la carne se clasifica en: carne normal, carne PSE y carne DFD.

En la carne PSE (pálidas, blandas y exudativas), se produce una rápida caída del pH a alta temperatura, esto produce la desnaturalización de las proteínas que son incapaces de retener agua. Las consecuencias son carnes de alta exudación y carnes pálidas indicando la desnaturalización de la mioglobina.

La carne DFD (oscura, firme y seca) es carne en la que no se ha producido una bajada de pH, ya que carece de reservas de glucógeno. Al alejarse el pH de la carne del punto isoeléctrico de las proteínas, aumenta la capacidad de retener agua que queda dentro de las estructuras miofibrilares. Esta estructura es responsable de su color oscuro. Son carnes secas y firmes (debido a una disminución del líquido intersticial).



Figuras 9. 10. y 11. Carne PSE, Carne normal, Carne DFD. Fuente: FAO

En la figura 12 se observa la evolución del pH post-mortem de la carne que para la carne normal termina con un pH último de: 5,6 - 6,2, para la carne PSE: $pH_u < 5,6$ incluso < 5 (carnes ácidas, también llamadas "tipo Hampshire") y para la carne DFD: $pH_u > 6,2$.

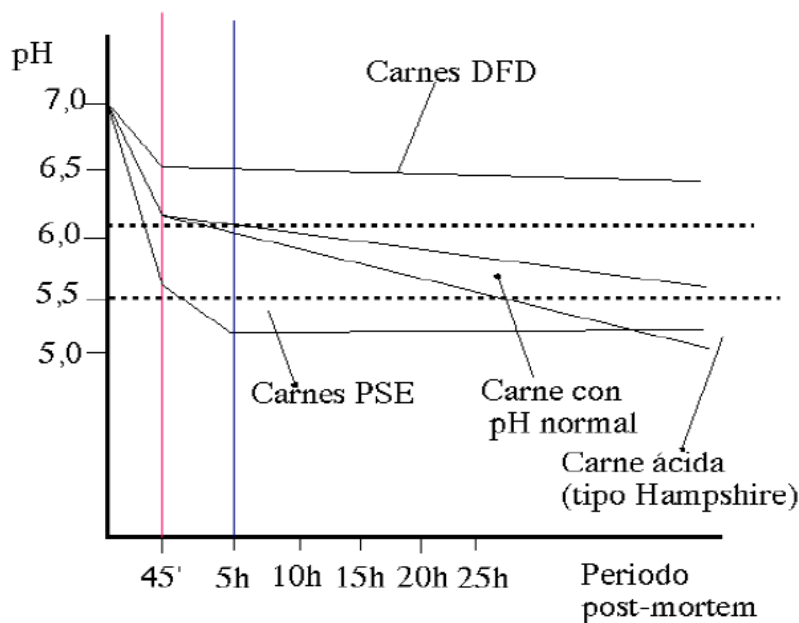


Figura 12. Evolución del pH post-mortem de la carne. Fuente: Alfonso, L., 2009.

Los factores que influyen en la aparición de carne PSE son de origen genético (hipertrofia muscular) o ambiental (transporte brusco y sin ventilación, manejo violento, sacrificio con aturdimiento defectuoso). También surge de provocar un intenso estrés a los animales, que conlleva un catabolismo anaeróbico del glucógeno muscular (originando altas concentraciones de ácido láctico) de forma que el pH evoluciona anormalmente.

La carne DFD aparece cuando el $pH_{24} > 6,2$. Esta insuficiente caída del pH se debe a la imposibilidad de formación de ácido láctico en el músculo por el agotamiento de las reservas energéticas (glucógeno y ATP) del animal sometido a situaciones de estrés moderado pero prolongado en el tiempo (transportes a grandes distancias, largos ayunos).

La carne con pH último elevado presenta unos valores de luminosidad (L^*), coordenada a^* y saturación del color inferiores a los de la carne normal y un tono más púrpura ($<H^*$) (Guingnot *et al.*, 1994). Este tipo de carne necesita más tiempo para la formación de una capa de oximioglobina lo suficientemente gruesa como para aparecer con el color rojo característico (MacDougall, 1982).

2.2.2 VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO

La temperatura a la que se produce el rigor mortis y el tiempo en el que se mantiene en esa temperatura pueden modificar el color de la carne y la estabilidad del mismo (Renner y Bonhomme, 1991). La mayor duración del periodo de enfriamiento de las canales produce una mayor desnaturalización proteica, que puede provocar un aumento de la luminosidad (L^*) y de los valores de las coordenadas roja (a^*) y amarilla (b^*). En un músculo pueden aparecer diferencias de luminosidad de hasta 5 unidades entre el interior y el exterior del mismo, debidas al diferente gradiente de temperatura (MacDougall, 1982).

2.2.3 SANGRADO

El desangrado del animal sacrificado se realiza entre las operaciones de sacrificio y eviscerado, estando su duración condicionada por el diseño de la instalación y el volumen de producción del matadero. A menudo, este tiempo no es suficiente para asegurar el desangrado óptimo del animal. Aunque los tiempos mínimos recomendados de desangrado para terneros son de 7-8 minutos.

El total de sangre por animal puede suponer entre un 4-5% del total del peso del animal, y de este volumen, el 20-40% permanece en el animal tras la operación de sacrificio y desangrado.

Es una operación determinante en el sacrificio del animal, ya que si no se realiza correctamente se produce un acúmulo de hemoglobina en el músculo que hace que la carne se vea más oscura al aumentar la cantidad de pigmento en la misma (Warris y Rhodes, 1977).

2.2.4 ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA

Consiste en someter la canal a una corriente eléctrica antes de que los músculos entren en *rigor mortis*. Su efecto depende de varios factores, entre ellos, el voltaje, frecuencia y duración del estímulo eléctrico (Aberle *et al.*, 2001). Se suele utilizar uno de estos dos sistemas:

- Baja tensión (80-100 voltios), en el momento del sangrado. Resulta menos arriesgado.
- Alta tensión (300-700 voltios), antes de los 30 minutos tras el sacrificio.

En esencia, el “shock” eléctrico, actúa del mismo modo que el impulso eléctrico nervioso en el animal, aunque magnificado, produciendo una fuerte contracción de todos los músculos.

Además de utilizarse para evitar el endurecimiento de la carne, también mejora el color, originando unas carnes más claras y de color rojo más brillante (Eikelenboom y Smulders, 1986). Esto es debido a que la estimulación eléctrica acelera el descenso del pH durante la glicólisis *post-mortem*. Valores de pH por debajo de 5,9 en menos de 45 minutos, cuando la

temperatura de la carne es elevada, producen una desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares y, por tanto, una disminución de la capacidad de retención de agua. Estos dos hechos, la desnaturalización proteica y la estructura abierta originada por la menor capacidad de retención de agua, producen mayor reflectancia de la luz y como consecuencia mayor luminosidad (Renerre y Bonhomme, 1991).

Además del aumento en la luminosidad (L^*), se produce un incremento de la cantidad de amarillo de la carne (b^*) (Ledward, 1985; Renerre y Bonhomme, 1991) y una mayor uniformidad del color (Ledward *et al.*, 1986; Moore y Young, 1991).

Renerre y Bonhomme, 1991, afirman no haber encontrado diferencias en la cantidad de pigmentos pero sí en la oxigenación de la mioglobina, obteniéndose un mayor contenido de MbO₂.

2.2.5 MADURACIÓN

En el momento de la muerte, el músculo es flácido y muy extensible, pero tras las primeras 12 a 24 horas *post-mortem*, se vuelve inextensible y rígido, como consecuencia del *rigor mortis*, explicado anteriormente.

Durante la maduración de la carne se produce una reducción de la actividad respiratoria del músculo, disminuyendo progresivamente el consumo de O₂ hasta los 7-10 días *post-mortem* (O'Keefe y Hood, 1982; Madhavi y Carpenter, 1993). Esto provoca una mayor penetración del mismo en la carne, produciéndose una mayor oxigenación de la mioglobina, un mayor porcentaje de MbO₂ y menor de Mb que en la carne no madurada (Feldhusen *et al.*, 1995).

Por lo tanto, la carne madurada presenta una superficie más roja y brillante, con mayores valores de las coordenadas roja (a^*) y amarilla (b^*) que la no madurada (Moore y Young, 1991). Esto se debe a una mayor penetración de la luz y a un aumento de la reflectancia. Además, se produce un incremento progresivo de la luminosidad (L^*) debido a una modificación de las proteínas (MacDougall, 1982).

La estabilidad del color de la carne madurada se incrementa al disminuir el consumo de oxígeno. Sin embargo, con periodos de tiempo más prolongados disminuye, debido a la pérdida de actividad del sistema reductor de la MMb por la degradación de las mitocondrias y la pérdida de los cofactores para la actividad del mismo (MacDougall, 1982; Ledward, 1991; Madhavi y Carpenter, 1993).

2.2.6 CONSERVACIÓN

Las exigencias actuales de vida útil de los productos cárnicos debe exceder las 5 semanas, entendiéndose por vida útil el máximo tiempo de almacenamiento antes de que la carne pierda su calidad nutricional, sensorial y de seguridad alimenticia al nivel de ser rechazada por los consumidores (Masana *et al.*, 2006).

En este sentido, las características microbiológicas y organolépticas del producto son determinantes, donde el color de la carne juega un papel fundamental en esa relación calidad-

aparición que el consumidor establece cuando lleva a cabo la elección de uno u otro producto de compra.

Los factores principales que afectan a estas propiedades de la carne en un sistema de conservación son: la temperatura y el tiempo de mantenimiento, la iluminación, la exposición al oxígeno del aire, así como el tipo de envasado, y el uso de atmósferas modificadas. En este apartado, estudiaremos cada uno de ellos con más detalle.

2.2.6.1 TEMPERATURA:

Con el almacenamiento de la carne a bajas temperaturas disminuye la actividad respiratoria lo que produce una mayor capa de oximioglobina (Boakye y Mittal, 1996). Por esta razón, el color de la superficie de la carne suele ser más brillante cuando se almacena a baja temperatura.

Por otra parte, un aumento en la temperatura de refrigeración de la carne de venta disminuye la estabilidad del color. Este efecto se debe a que aumenta la velocidad de oxidación de la mioglobina (MacDougall, 1982), el crecimiento microbiano y se acelera la oxidación de los lípidos (Faustman y Cassens, 1990).

Una baja humedad relativa del ambiente en el que se almacene la carne provoca la desecación de la superficie y, por tanto, un oscurecimiento de la misma. También puede provocar un aumento de la contaminación microbiana que afecte al color de la carne.

Actualmente, no aparecen problemas de color debidos a la pérdida de humedad ya que la carne es envasada con películas impermeables a la humedad (Faustman y Cassens, 1990). El mejor ambiente para mantener el color de la carne de vacuno parece ser el de 90% de humedad relativa, 0,5m/s de velocidad del aire y una temperatura cercana al punto de congelación (Gill, 1995).

2.2.6.2 ILUMINACIÓN:

Se han realizado numerosos estudios del efecto de la iluminación y de distintos tipos de luces sobre el color de la carne, observándose mayor oxidación con cualquier tipo de iluminación que en condiciones de oscuridad (Franke y Solberg, 1971). Este efecto puede ser debido a un incremento en el crecimiento de microorganismos, a que provoca temperaturas más altas en la superficie estropeándose antes el color o a la fotooxidación de la parte proteica de la mioglobina que acelera la oxidación del grupo hemo (Giddings, 1977). Solberg y Franke (1971) no encontraron ninguna longitud de onda dentro del espectro visible que resultara más perjudicial que otras.

La radiación ultravioleta presenta un efecto muy perjudicial en el color de la carne, por lo que se están investigando materiales para el envasado de la carne que sean impermeables a dicha radiación (Andersen *et al.*, 1989).

Los distintos tipos de luz empleados para la iluminación en los establecimientos de venta pueden cambiar la apreciación del color para el consumidor por lo que tienen una gran influencia comercial. La luz incandescente común (CF) y la luz blanca fría de lux (DCW) producen mejores valoraciones iniciales del color de la carne por el consumidor que otros tipos de luz. La luz CF, sin embargo, no es recomendable porque produce un aumento de la temperatura en la superficie y, por tanto, un incremento de la contaminación microbiana y

una mayor degradación del color. Hernández (1994) estudió la valoración del color de la carne con distintos iluminantes estándar comprobando que los mejores son los iluminantes A y el F11 ya que potencian el color rojo de la misma. En este mismo aspecto se basan Hunt *et al.* (1991) para recomendar el uso de este iluminante para medir el color de la carne y derivados por técnicas espectrofotométricas.

2.2.6.3 EXPOSICIÓN AL OXÍGENO DEL AIRE:

Cuando la carne se encuentra en los expositores de venta al público está en contacto con el oxígeno. La mioglobina se encuentra principalmente como oximioglobina, y, conforme pasa el tiempo va aumentando el porcentaje relativo de metamioglobina en la superficie de la misma, lo que produce la decoloración de la carne fresca (Eagerman *et al.*, 1977). Cuando este porcentaje llega a un 20% uno de cada dos consumidores la rechaza (Hood y Riordan, 1973; Renerre y Mazuel, 1985) y cuando alcanza un 50% la carne es considerada inaceptable por el total de los consumidores (Van den Oord y Wesdorp, 1971).

A medida que se va estropeando la carne, el valor de los parámetros a^* y b^* disminuyen (Renerre y Bonhomme, 1991; Hernández, 1994), siendo mayor la disminución de la coordenada roja (a^*), que coincide con la peor evaluación sensorial por parte del consumidor (Moore y Young, 1991). La luminosidad (L^*) permanece constante con el tiempo de exposición al oxígeno, mientras que el tono (H^*) aumenta (MacDougall y Rhodes, 1972). Para MacDougall (1994) los parámetros Saturación (C^*) y Tono (H^*) permiten seguir con facilidad los cambios de color en la carne de vacuno con el tiempo de almacenamiento. Cuando se oxigena la carne se produce un incremento en la coordenada C^* que continúa hasta que la oxigenación es completa, una vez transcurridas unas 24 h. Cuando empieza a aparecer el color marrón de la MMB se produce una disminución de C^* y comienza a incrementarse H^* hasta que el color ya no es aceptable por el consumidor.

2.2.6.4 ENVASADO:

El empaque y la distribución de los alimentos a través de los circuitos de distribución han pasado, en algunos años, de la simple protección higiénica, a un acondicionamiento más elaborado que cumple múltiples funciones, no solo la de conservación, sino de información, protección y estabilización del contenido, seguridad higiénica, servicio y comodidad de utilización, (Chang, 2003).

A la hora del envasado de la carne, se deben tener en cuenta todas las condiciones de conservación estudiadas anteriormente, para retardar el enranciamiento y la decoloración. El color es una de las propiedades más frágiles de la carne fresca, particularmente en las vitrinas de exhibición para venta, donde la exposición a la luz y las temperaturas fluctuantes favorecen una rápida pérdida del mismo. Está comprobado que se requiere oxígeno para conservar el color rojo brillante típico de la carne, sin embargo, el O_2 también acelera los cambios bioquímicos, la oxidación química y el crecimiento bacteriano, y todos estos factores contribuyen a la pérdida de color.

Para una carne fresca cortada, en contacto con el aire, la distribución de los pigmentos es la siguiente:

- en superficie, la mioglobina se encuentra en forma de oximioglobina.
- bajo la capa de oximioglobina, debido a la disminución de la presión parcial del oxígeno se forma una capa marrón de metamioglobina.

— en el centro, el pigmento se encuentra en forma de mioglobina reducida, color pardo oscuro.

Cuando se deja en contacto con el aire durante algunas horas, la carne pasa de un color rojo vivo a un color marrón debido al desarrollo de la capa de metamioglobina. Por el contrario, una atmósfera de conservación enriquecida en oxígeno implica un aumento del espesor de la capa de oximioglobina, enmascarando el color marrón de la metamioglobina subyacente y la carne conserva un color rojo vivo. En presencia de concentraciones elevadas de oxígeno, (presiones de O₂ iguales o superiores a 20 mm de Hg, Fig.7), el porcentaje de metamioglobina formado es inferior al 40%, valor límite que provoca un cambio de color desagradable y difícilmente reversible en la carne, (Bureau *et al.*, 1995).

En ausencia total de oxígeno, la mioglobina se encuentra en forma de mioglobina reducida de color rojo oscuro, color poco apreciado por el consumidor. Cuando la película del envase es poco permeable al O₂ del aire, el espesor de la capa de metamioglobina es insuficiente para enmascarar el color rojo oscuro de las capas subyacentes; la carne conserva el color rojo oscuro característico de la forma reducida de la mioglobina. En el momento de abrir el envase, adopta rápidamente el color rojo vivo de una carne fresca.

Por el contrario, cuando se utiliza una película permeable, la capa de metamioglobina es más gruesa y la carne puede adoptar una coloración marrón. Al abrir el envase, la oxigenación es más lenta puesto que, previamente debe ocurrir la reducción enzimática de la metamioglobina en mioglobina reducida. Cuando la cantidad de metamioglobina formada es importante, la oxigenación es incompleta, (Nottingham, 1982).

Cuando la carne empaquetada se conserva en congelación los materiales utilizados deben ser impermeables al oxígeno y a la humedad.

Bekerl y Williams (1992) patentaron un procedimiento que utiliza absorbentes de oxígeno y una superficie texturizada que se coloca en el fondo de los paquetes que puede adherirse a una bandeja u otro recipiente de sostén.

2.2.6.4.1 Envasado al vacío:

El envasado al vacío consiste en extraer casi todo el aire del interior del envase y luego sellarlo, sin incluir ninguna mezcla gaseosa. El contenido total de aire es casi imposible de evacuar del todo (se mantiene de 0,3 a 3%, después del sellado), de modo que la atmósfera interior puede cambiar durante el almacenamiento (por crecimiento microbiano, metabolismo y/o permeabilidad a los gases del material de envase). La evacuación del aire se hace efectiva hasta niveles nominalmente anóxicos (menos de 500 ppm) para prevenir los cambios de coloración irreversibles, debido a los bajos niveles residuales de oxígeno.

En la práctica, es difícil obtener envases totalmente herméticos. La penetración de una pequeña cantidad de aire conduce a la formación de una capa de metamioglobina marrón en la superficie de la carne debido al hecho de una oxidación real (y no una oxigenación).

No obstante, la cantidad de oxígeno residual existente en muchos paquetes envasados en esas condiciones es suficiente para producir cambios de coloración cuando los paquetes se exhiben bajo iluminación directa inmediatamente después del envasado. Ransbotton (1976) plantea que como la respiración biológica del contenido del paquete es capaz de consumir el oxígeno residual en 1 ó 2 días, una exposición posterior del producto a la luz no ocasiona

cambios de coloración y, por lo tanto, recomienda no ponerlos inmediatamente a la venta en las vitrinas de los establecimientos.

En los productos envasados al vacío se debe cuidar que la relación entre el área superficial expuesta no sea mucho mayor que la masa, para que no afecte al color, por una mayor exposición a la penetración del oxígeno.

El envasado al vacío reduce las pérdidas debidas a la evaporación y los cortes, preserva la apariencia visual, incrementa el control higiénico y mejora la palatabilidad del producto. Desde el punto de vista microbiológico retarda el crecimiento microbiano responsable del deterioro, pues disminuye la posibilidad de proliferación de bacterias, las que ahora deberán ser capaces de tolerar las condiciones anaeróbicas. El hecho de reducir parcialmente la cantidad de oxígeno disponible en contacto con la carne ejerce una acción inhibitoria sobre la flora de alteración.

El oxígeno que queda en el interior del envase después del envasado se va consumiendo progresivamente debido a los fenómenos respiratorios, tisulares y bacterianos, y va siendo reemplazado por la producción de CO₂. La asociación de estos dos efectos conduce a la inhibición de la flora aerobia de alteración, (Chang, 2003).

2.2.6.4.2 Atmósfera Modificada (ATM):

En la actualidad, una de las alternativas de envasado de carne destinada al mercado minorista es el envasado en Atmósfera Modificada, (MAP, por las siglas en inglés de Modified Atmosphere Packaging), que, en términos generales, consiste en envasar alimentos en una atmósfera con composición distinta a la del aire. De acuerdo con esta definición, varios sistemas de envasado se clasifican como MAP, dentro de los cuales, el más utilizado es el envasado en atmósfera con alta concentración de O₂ en CO₂, que mantiene el color de la carne fresca, aunque presenta una limitada vida útil (10 días a 4°C) debido a la alta concentración de oxígeno y el consiguiente desarrollo de la flora aeróbica (Jayasingh *et al.*, 2001).

La pieza central de los sistemas MAP para el control de bacterias en la carne fresca ha sido el CO₂, debido a su habilidad de inhibir un amplio rango de microorganismos, sobre todo, bacterias gram-negativas, las cuales típicamente crecen muy rápido en la carne fresca. Se hace efectivo a una concentración del 20%. El CO₂ atrasa y disminuye el crecimiento de los microorganismos afectados, al entrar en las células bacterianas y afectar el pH celular, la actividad enzimática y la absorción de sustrato. El CO₂ es altamente soluble tanto en tejido macro como en tejido graso, lo que significa que es fácilmente absorbido por la carne. A una alta concentración, puede alterar el pH del producto cárnico y afectar el color fresco de la carne. Además, si se usa una alta proporción de CO₂, el gas puede ser absorbido hasta el punto de que el paquete se colapsa. Debido a la necesidad de limitar la absorción del gas y evitar la decoloración de la carne fresca, típicamente el CO₂ se ha combinado con nitrógeno y oxígeno y se ha limitado su concentración a 30% de la mezcla para MAP.

En el mercado nacional el sistema más utilizado en MAP de carne de vacuno consiste en una mezcla de atmósfera alta en oxígeno (70-80%) combinada con ese 20-30% de CO₂. Una vida útil de color de 10 a 14 días es típica con un envase MAP de alta barrera al oxígeno, comparado con los 3 a 7 días de los envases recubiertos con películas permeables al oxígeno (la tradicional bandeja de espuma envuelta en plástico retráctil).

Otro efecto sobre la calidad de la carne, relacionado con el uso de atmósferas con alto contenido de O₂, es la oxidación de lípidos, (que se estudiará con más detalle en el apartado 3), y que se asocia al desarrollo de malos olores y sabores, los que generalmente se denominan como rancios.

También el uso de monóxido de carbono, en tan solo una concentración de 0.4%, presenta una serie de ventajas como son que permite la inclusión de una concentración más elevada de CO₂ sin decolorar la carne, ha demostrado reducir el deterioro por oxidación de lípidos y proteínas, retardar el desarrollo de los microorganismos responsables de la descomposición de la carne y generar un color más estable en el producto (SCF, 2001).

Recientemente, algunas compañías han desarrollado otro sistema MAP de bajo contenido en oxígeno y que no utiliza el monóxido de carbono. Este sistema es un envase al vacío que utiliza una película a cuya capa interna se le incorpora una pequeña cantidad de nitrito. La película tiene que hacer contacto con la superficie de la carne para que el nitrito se disuelva en ella. El nitrito forma entonces óxido nítrico, el cual se combina a su vez con el pigmento de la carne. El color se torna café al principio, pero después de 1-5 días se vuelve otra vez rojo. Este color rojo es brillante, muy estable y prácticamente idéntico al color derivado del oxígeno y el monóxido de carbono que puede existir en un envase con vacío real. La cantidad de nitrito requerida es muy baja, sólo se necesitan entre 1-5 partes por millón, (Sebranek, 2009).

Lee *et al.*, (1984) plantean que el envasado con nitrógeno mejora significativamente la apariencia retardando la decoloración verde de los productos cárnicos en presencia de la luz.

2.2.6.4.3 Materiales de envase:

Para mantener el vacío alrededor del alimento se requieren materiales de alta barrera al oxígeno, (Brody, 1989). También deben usarse materiales con baja permeabilidad al vapor de agua.

Para el envasado en atmósfera modificada y al vacío, puede utilizarse el mismo material. Los más empleados son laminados de materiales de muy baja permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono. Para la atmósfera modificada es necesaria la baja permeabilidad con el fin de mantener los gases inyectados, y para el vacío, con objeto de mantener la vacuidad.

Con este fin y para el envasado se utilizan complejos constituidos por materiales que tienen propiedades complementarias cuyo resultado elimina o disminuye al máximo el intercambio con el medio exterior y que están, formados básicamente por:

- Una película impermeable a los gases, específicamente al O₂, como: Nylon (poliamida), SARÁN (copolímero PVDC+PVC), policloruro de vinilideno PVDC, etilvinilalcohol EVOH y laminados de aluminio.
- Un agente de soldadura como el polietileno PE o polipropileno PP.

Suelen utilizarse materiales multicapa o coextruidos aunque pueden considerarse básicos polímeros como polivinilcloruro PVC, polietilentereftalato PET, PP y PE.

En todos los casos se conjugan otras propiedades de los materiales como es una buena sellabilidad, para evitar las posibles pérdidas; una buena transparencia, aún incluyendo los

recubrimientos con filtros ultravioletas para aquellos productos que lo necesiten e igualmente que permitan evitar la condensación en la superficie del producto.

A pesar del uso del mismo material de envase, ambos sistemas son muy diferentes respecto a apariencia y durabilidad del producto. Para la atmósfera modificada se mantiene el color rojo brillante, muy atractivo para el consumidor. Para el vacío el color es púrpura o rojo oscuro, debido a la ausencia de oxígeno. No obstante, el riesgo de deterioro del sabor es mayor en atmósfera modificada que en envasado al vacío, por la posibilidad de oxidación de la grasa, o desarrollo microbiano, dada la presencia de oxígeno.

También cambia la durabilidad del envasado, ya que a vacío es mayor, alrededor de las 3 semanas entre 2 y 4°C, y en atmósfera modificada durante 9-12 días, (Jeremiah, 2001).

Como se ha estudiado en este apartado, son numerosos y heterogéneos los factores que pueden originar cambios en la estructura anatómica, en la composición química y en las características sensoriales de la carne.

3. DETERIORO DEL COLOR DE LA CARNE – FACTORES QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

El color, siendo el factor primario considerado por el consumidor al comprar la carne, es un atributo que sufre deterioro, ya sea por factores físicos, microbiológicos o químicos.

Entre los factores físicos, se encuentra el deterioro dado por los cambios de temperatura, fundamentalmente en el proceso de congelación. La migración de humedad y la recristalización pueden causar secado y formación de cristales de hielo, creando así la presencia de decoloración como un resultado negativo importante en la apariencia de la carne.

Los resultados de crecimiento microbiológico son fundamentales en la conservación de la carne, la presencia de diferentes grupos microbianos puede evidenciarse por cambios fuertes en el color de la carne.

Los cambios químicos como la desnaturalización de las proteínas, la oxidación y la hidrólisis, los cambios en el pH y la acción de las enzimas, también son factores significantes que afectan al color.

No obstante, en este apartado estudiaremos con más detalle los factores químicos y microbiológicos principales del deterioro causado en la carne: la contaminación microbiana y la oxidación lipídica.

3.1 CONTAMINACIÓN MICROBIANA

Dentro de los aspectos microbiológicos, las bacterias son las principales causantes de las decoloraciones que se producen en la carne.

Los factores que influyen en el crecimiento bacteriano son: la temperatura, la humedad y el pH. Los microorganismos patógenos que posee la carne, no pueden desarrollarse a temperaturas bajas (-0°C), con falta de humedad y con pH bajo. Por esta razón se debe contar con una buena refrigeración o congelación para la conservación de la misma. La carne fresca se considera alterada cuando el número de microorganismos oscila entre 10^6 y 10^8 por cm^2 (ICMSF, 1985).

Las principales bacterias psicrótrofas que se encuentran en la superficie de la carne envasada en aerobiosis son del género *Pseudomonas spp.* En la carne envasada en condiciones anaerobias predominan los *Lactobacillus* (Pierson *et al.*, 1970).

Las bacterias capaces de producir un color verdoso en la superficie de la carne son bacterias acidolácticas halotolerantes, capaces de crecer a bajas temperaturas y de producir y acumular peróxido de hidrógeno en condiciones aeróbicas, fuerte agente oxidante que degrada los pigmentos de la carne. También pueden provocar la formación de sulfomioglobina de color verde, por la producción de sulfuro de hidrógeno (Lawrie, 1985).

Un aumento de la contaminación microbiana provoca una reducción de la presión parcial de oxígeno en la superficie produciéndose la desoxigenación de la MbO_2 dando Mb, con la consiguiente aparición de un color oscuro en la superficie debido a este pigmento. A su vez, éste es más susceptible a la oxidación por lo que puede provocar la aparición de la MMB (Faustman y Cassens, 1990). Cuando la contaminación microbiana presenta recuentos superiores a 10^4 se produce sin embargo, una acción prorreductora con un aparente descenso

de la MMb, observándose un color rojizo más oscuro asociado a la Mb (Faustman y Cassens, 1990; Demos y Mandigo, 1995).

El crecimiento de lactobacilos en la superficie de la carne no produce decoloración marrón y previene del crecimiento de bacterias alterantes gram negativas por lo que pueden alargar la vida útil de la carne (Reddy *et al.*, 1970).

3.2 OXIDACIÓN LIPÍDICA

La oxidación lipídica se puede comprobar organolépticamente en la carne, de acuerdo al cambio en tres de sus características principales: aparición de olor rancio desagradable, cambios en el color y en el sabor. Este fenómeno puede hacer que la ingestión sea muy desagradable o incluso tóxica, dependiendo de las moléculas generadas por el proceso de degradación.

La oxidación consiste en una serie de reacciones químicas que pueden ocurrirle a una molécula. El mecanismo de la oxidación se puede dividir en tres etapas principales: iniciación, propagación y terminación.

En la iniciación, debido a la inestabilidad de algunas moléculas orgánicas y a la actividad de uno o más factores catalizadores, ocurre la formación del primer radical libre (Figura 13.). El radical libre se forma, por ejemplo, con un átomo de hidrógeno siendo retirado de una molécula de grasa. Los factores que más influyen en la formación de radicales libres y catalizan el proceso de oxidación son: el calor o la luz, enzimas, medio alcalino, moléculas con insaturaciones y disponibilidad de oxígeno para reaccionar, entre otros.

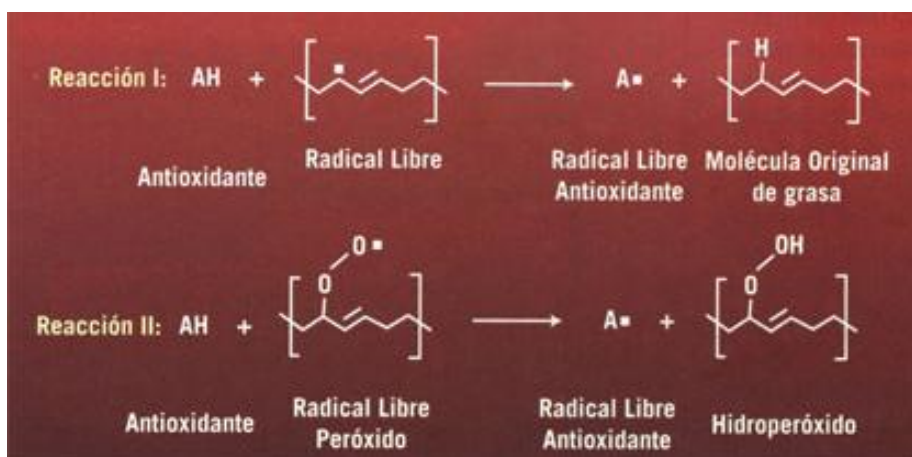


Figura 13. Mecanismo de la oxidación, terminación con antioxidante.

Fuente: Vieira, A. (2007)

Después de esta etapa inicial, empieza la de propagación, con el radical libre siendo atacado por una molécula de oxígeno, formando un peróxido, que todavía continúa siendo radical libre. Este peróxido ataca a una nueva molécula de grasa, que también pierde un átomo de hidrógeno, formando un hidroperóxido y además un nuevo radical libre, iniciando el proceso en cadena. Si el oxígeno disponible fuera suficiente y ningún antioxidante estuviera presente en el producto, esta etapa continuaría degradando el producto.

La terminación es la siguiente etapa. Los peróxidos se combinan, formando moléculas más estables y los hidroperóxidos forman diversas moléculas con funcionalidades ácidas, aldehídicas, alcohólicas, cetónicas, etc. En esta etapa, todo el material es degradado irreversiblemente, llevando a la descomposición total del producto, generando olor rancio y cambio de color, demostrando la oxidación. El desagradable olor rancio es el resultado de la formación de varias moléculas volátiles, algunas de las cuales poseen sabor desagradable y potencial tóxico.

La oxidación, una vez que se inicia, se transforma en una reacción en cadena de difícil control, aumentando su velocidad muy rápidamente en un corto espacio de tiempo. Las moléculas ya oxidadas no pueden retornar a su estado original. Tampoco está directamente relacionado a la cantidad de moléculas susceptibles a la oxidación, sino a moléculas y factores catalizadores del proceso, que inician la generación de radicales libres. Por lo tanto, este proceso no se puede revertir, pero se puede retardar con el uso de antioxidantes, como se estudiará en el apartado 4.2 de este capítulo (Uso de antioxidantes).

La oxidación lipídica y la oxidación de los pigmentos se encuentran estrechamente relacionadas, ya que existe una significativa correspondencia entre la formación de MMB y la acumulación de productos de oxidación lipídica. Esta relación se puede producir porque los radicales libres producidos durante la oxidación lipídica actúan directamente como promotores de la oxidación hemínica y/o indirectamente alterando los sistemas de reducción de los pigmentos (Renerre, 1990). Por otra parte, la oxidación de los pigmentos también puede actuar como catalizador de la oxidación lipídica (Andersen *et al.*, 1990; Gatellier *et al.*, 1995).

En este sentido, diversos autores han demostrado que la adición de distintas sustancias con acción antioxidante de los lípidos también impide la oxidación de la mioglobina. Por otra parte, sustancias que aceleran la oxidación de los lípidos también lo hacen de los pigmentos hemínicos (Govindarajan *et al.*, 1977).

4. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN DE LA APARIENCIA DE LA CARNE

Tal y como se ha estudiado anteriormente, la carne fresca se caracteriza por contener una elevada cantidad de nutrientes, presentar valores de pH alrededor de 5,6 - 6,0, y valores de actividad de agua muy elevados (0,98), condiciones que la convierten en un excelente medio de cultivo para los microorganismos, oxidación y deterioro por procesos enzimáticos, que afectan al color de la misma y por tanto, disminuyen su calidad. En consecuencia, las condiciones de conservación de este producto tienen una gran importancia durante todo el proceso producción-consumo. Éstas deben mantener las propiedades organolépticas así como la calidad y seguridad sanitaria durante la vida útil de la carne.

Por otra parte, la creciente demanda de productos mínimamente procesados y listos para el consumo, plantea un importante reto para la seguridad alimentaria, que ha conducido al desarrollo de tratamientos post-procesados suaves, que permiten inhibir el crecimiento microbiano manteniendo la calidad y frescor de la carne.

En este apartado se estudiarán tanto los métodos de conservación utilizados normalmente para mantener las propiedades y el color de la carne, como las tecnologías desarrolladas para mejorar la conservación.

4.1 MÉTODOS USUALES DE CONSERVACIÓN

La aplicación de frío a la carne como método más utilizado para su conservación responde a principalmente a dos propósitos: la de preservar la calidad inicial de la misma, con vistas a su consumo, y la de mantenerla a temperatura adecuada para que madure y se desarrollen los procesos microbiológicos, físico-químicos y bioquímicos que determinan el color, el sabor, el olor y su textura final, así como su vida útil.

Los tratamientos de conservación mediante frío hay que aplicarlos inmediatamente tras el sacrificio animal debido a que la carne sea un alimento tan perecedero. Se debe tener en cuenta que el frío no mejora la calidad de la carne, en el mejor de los casos la mantiene, por tanto, el frío solo debe emplearse cuando la carne posea una calidad higiénico-sanitaria adecuada.

4.1.1 REFRIGERACIÓN

La conservación de la carne mediante refrigeración es un método ampliamente utilizado que reduce los cambios físicos, químicos y microbiológicos que aparecen como consecuencia de una elevada temperatura, conservando en gran medida el valor nutritivo y las características organolépticas originales del alimento.

En general, para la carne fresca, es deseable una temperatura de almacenamiento lo más baja posible por encima de la congelación, controlando la humedad relativa del aire en la cámara, ya que si se produce una pérdida considerable de humedad en la superficie de la carne se produciría también una pérdida de peso. Además, se oxidaría la mioglobina a metamioglobina, apareciendo una coloración marrón, (Alberle *et al.*, 2001). No obstante, es deseable una pequeña pérdida de humedad superficial puesto que ello tiende a retardar el desarrollo de los microorganismos, (Lawrie, 1991).

La temperatura de refrigeración que se considera como crítica para la manipulación y el almacenamiento de la carne y no debe superarse en ningún momento, sin una pérdida sustancial de su calidad y aspecto es 5°C, (Lawrie, 1991).

Así mismo, resulta esencial el mantenimiento de las condiciones de refrigeración durante todo el proceso, ya que cualquier interrupción en la cadena de frío favorece su deterioro y repercute negativamente en la calidad del producto, (Soriano *et al.*, 2009).

4.1.2 CONGELACIÓN

La congelación es un excelente procedimiento de conservar la calidad de la carne durante períodos prolongados de tiempo. Su eficacia radica en la deshidratación interna de la célula (formación de cristales de hielo) por el descenso de la temperatura por debajo de 0°C.

La retención o pérdida de la calidad de los tejidos durante la conservación en congelación está relacionada con la técnica de congelación y/o con sus características intrínsecas. Un problema derivado de una congelación inadecuada (lenta) y un almacenamiento incorrecto (demasiado prolongado o temperaturas elevadas) es la aparición de un exudado excesivo durante la descongelación.

Cuando el tejido muscular se congela rápidamente se forman cristales de hielo pequeños, tanto intra como extracelularmente. Si el músculo se congela lentamente se generan cristales de hielo extracelulares muy grandes y la consiguiente compresión de las fibras musculares.

La carne de vacuno no se debe congelar en estado pre-rigor, ya que de hacerlo se contrae intensamente al descongelarla y se vuelve dura y exudativa, (Alberle *et al.*, 2001). Generalmente las enzimas no son totalmente inactivadas por los procesos de congelación ya que algunas continúan funcionando en el tejido animal. Aquellas que continúan activas son las que actúan sobre los lípidos, como lipasas y fosfolipasas, liberando ácidos grasos que eventualmente pueden oxidarse alterando, por rancidez, la calidad comestible de la carne.

4.2 TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN EMERGENTES

Resulta imprescindible la continua búsqueda de sistemas de conservación de carne innovadores, que aseguren la inocuidad y calidad de la carne hasta su consumo. En este capítulo se presentarán: el tratamiento de alta presión hidrostática, la aplicación de antimicrobianos naturales, técnicas de envasado activo (biopolímeros), así como el uso de antioxidantes.

4.2.1 TRATAMIENTO DE ALTA PRESIÓN HIDROSTÁTICA (APH)

La tecnología de alta presión hidrostática (APH) se ha desarrollado en respuesta a una demanda del consumidor por alimentos de alta calidad mínimamente procesados. Es una tecnología no térmica que permite aumentar la seguridad microbiológica de los alimentos y prolongar su vida útil. La presión no deteriora nutrientes termolábiles tales como las vitaminas, ni altera los compuestos de bajo peso molecular, fundamentalmente los responsables del aroma y el sabor, (Smelt, 1998).

Un equipo de APH consiste en una cámara de presurización, un fluido transmisor de la presión (normalmente agua) y bombas para generar la presión. Los alimentos, previamente envasados, se introducen en la cámara, se cierra y se carga el fluido transmisor. Una vez alcanzada la presión deseada, el bombeo de fluido se para, las válvulas se cierran y la presión se mantiene sin necesidad de aportar energía adicional. Las presiones utilizadas normalmente en la industria se sitúan en el intervalo de 300 a 700 MPa, (Ordóñez *et al.*, 2004).



Figuras 14. y 15. Técnicos del IRTA de Monells, (Girona) realizando un ensayo del tratamiento de alta presión hidrostática para carne y productos cárnicos. Fuente: www.irta.es

El principal atractivo para aplicar la alta presión hidrostática a los productos cárnicos es el efecto antimicrobiano que produce. El grado de inactivación microbiana provocado por la APH depende, en primer lugar, del tipo de microorganismo afectado. La sensibilidad de los microorganismos a la presión se puede ordenar de mayor a menor: mohos y levaduras, bacterias Gram-negativas, bacterias Gram-positivas, virus y esporas bacterianas, (Ordóñez *et al.*, 2004).

El efecto de la presión en el color y en el contenido de la mioglobina de carne picada envasada al vacío, en aire y en oxígeno fue investigado por Carlez *et al.*, (1995). Se observó decoloración de la carne sometida a 200-350 MPa. Presiones entre 200-500 MPa provocaron un descenso del contenido de mioglobina y oximioglobina, mientras que a 400-500 MPa aumentó el contenido de metamioglobina. Por otro lado, Cheah y Ledward (1996), relacionaron el efecto de la presión sobre la oxidación lipídica de la carne picada de cerdo. Las muestras presurizadas mostraron una oxidación más rápida que los controles a presiones superiores a 300 MPa. La presurización aumentó la desnaturalización de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas, así como la oxidación de la mioglobina/oximioglobina a metamioglobina.

4.2.2 ADICIÓN DE ANTIMICROBIANOS NATURALES

La tendencia general a reducir los niveles de aditivos sintéticos añadidos a los alimentos ha aumentado el interés hacia los antimicrobianos naturales, producidos por bacterias seleccionadas. Los más utilizados son el lactato-diacetato y las bacteriocinas.

Los **lactatos sódico y potásico** son sales del ácido láctico presentes de forma natural en el tejido animal. El lactato actúa como agente bacteriostático incrementando la fase de latencia de los microorganismos. Tiene un efecto de actuación amplio, mostrándose efectivo contra

microorganismos Gram-positivos y Gram-negativos. Provoca una reducción de los valores de actividad de agua y reduce la formación de exudados debido a su capacidad tamponadora, que estabiliza los valores de pH a lo largo de su vida útil, (Rodríguez, 2005). Por otro lado, el **diacetato sódico**, acidificante de origen natural, es también un potente agente antimicrobiano. Se ha descrito su capacidad para inhibir *L. monocytogenes* en productos cárnicos a concentraciones iguales o superiores al 0,2%.

El uso del lactato sódico (E-325), el lactato potásico (E-326) y el diacetato sódico (E-262-II) como aditivos para la conservación de productos cárnicos está permitido en Europa (CE, 1995), y en EEUU (FSIS/USDA, 2000). Desde el punto de vista sensorial, para evitar la aparición de sabores anormales en los productos cárnicos, se recomienda añadir una cantidad de diacetato entre 0,10-0,12%. En cuanto al lactato, no se han detectado connotaciones sensoriales negativas derivadas de su aplicación.

Las bacterias ácido lácticas (BAL) forman parte de la microbiota endógena de la carne y juegan un papel importante en su conservación. Inhiben el crecimiento de microorganismos alterantes y patógenos, gracias a la competencia por los nutrientes y a la producción de metabolitos antimicrobianos tales como: ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno, CO₂, diacetilo, etanol y bacteriocinas, (Hugas *et al.*, 2002). Las **bacteriocinas** producidas por las BAL son péptidos de bajo peso molecular, su producción responde a una función protectora, ya que inhibe el crecimiento de microorganismos competidores por el mismo nicho ecológico o los mismos nutrientes. Se pueden aplicar a los alimentos de maneras muy diversas: como cultivos iniciadores, como envase activo incluidas en un envase o tripa, en la masa cárnica y/o pulverizado en la superficie del alimento, (Hugas *et al.*, 2002). La nisina (E-234) es la única bacteriocina incluida en la lista positiva de aditivos alimentarios, RD 142/2002 (Ministerio de Sanidad y Consumo, 2002).

4.2.3 ENVASADO ACTIVO

El envasado activo es un concepto innovador que puede definirse como un tipo de envasado en el que el envase, el producto y el entorno que lo rodea interactúan para alargar la vida útil de los alimentos, mejorar las propiedades organolépticas y seguridad alimentaria, manteniendo la calidad del producto, (Vermeiren *et al.*, 1999; Suppakul *et al.*, 2003). Permite mejorar la funcionalidad del envase gracias a la adición de una sustancia activa al material. Dichos componentes activos pueden ser capaces, por ejemplo, de absorber oxígeno, controlar la concentración de dióxido de carbono o etileno, desprender etanol, liberar antioxidantes, regular la humedad o controlar el crecimiento de microorganismos, (Han, 2000).

Esta tecnología de envasado resulta efectiva para evitar o minimizar la contaminación superficial de los alimentos, de aquí el interés de su aplicación en productos cárnicos listos para el consumo, donde la contaminación ocurre principalmente en la superficie del producto. Algunos agentes antimicrobianos utilizados en el envasado son ácidos orgánicos, sulfitos, nitratos, alcoholes y antimicrobianos naturales, (Han, 2000).

Para la aplicación de estos agentes antimicrobianos se debe tener en cuenta tanto los cambios en las propiedades sensoriales del alimento (en la carne, la permeabilidad del envase que marcará la oxidación de los pigmentos y por tanto, cambios en la coloración), como la interacción de estos compuestos con los ingredientes del alimento y la influencia de esta interacción en su eficacia, (Longinos *et al.*, 2005).

4.2.3.1 BIOPOLÍMEROS:

Los problemas medioambientales derivados del elevado consumo de material plástico en el sector alimentario, y el hecho de que el petróleo sea una fuente de energía no renovable, cada vez más escasa, han conducido a una continua evolución del sector. El desarrollo de materiales de envasado a base de biopolímeros supone el uso de materiales biodegradables, y ha permitido dar salida a productos agrícolas y naturales infrautilizados. Pueden ser mezclados con plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas, de barrera y transmisión de luz, (Villada *et al.*, 2009).

Los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (quitina/quitosan), origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)), (Tharanathan, 2003).

En un estudio realizado en el IRTA (Centro de Tecnología de la Carne, en Cataluña 2006), se valoró el efecto del envasado antimicrobiano de jamón cocido loncheado sobre la evolución de *L. monocytogenes*, inoculada de forma controlada, durante la conservación del producto. Para ello se adicionó enterocina (una bacteriocina) a matrices de alginato, polivinil alcohol y zeína.



Figuras 16. 17. y 18. Muestras de jamón cocido envasado entre láminas de alginato (16), polivinil alcohol (17) y zeína (18). Fuente: Marcos *et al.*, 2006.

Marcos *et al.*, (2006), concluyeron en los resultados de dicho estudio que la adición de enterocina a las láminas biodegradables resultó efectiva para reducir el crecimiento de *L. monocytogenes*. Aunque resulta necesaria la optimización de las concentraciones del agente antimicrobiano, el tipo de agente y sus combinaciones, así como el uso de nuevos materiales biodegradables, estos resultados muestran el potencial del envasado antimicrobiano como una tecnología prometedora para mejorar la seguridad alimentaria.

4.2.4 USO DE ANTIOXIDANTES

La oxidación lipídica es un fenómeno químico que no se puede evitar o paralizar completamente. Sin embargo, se puede disminuir de tal forma que se obtenga un aumento significativo de su estabilidad y de la vida útil del producto final, adicionando un antioxidante al sistema. Para prevenir esta oxidación es muy importante utilizar buenas prácticas de fabricación (BPF), técnicas y materiales apropiados en el envasado, así como seleccionar y aplicar correctamente los antioxidantes más efectivos.

Los antioxidantes son moléculas que inhiben o interfieren en el proceso de formación de radicales libres, durante las etapas de iniciación y propagación. Existen distintos tipos de antioxidantes. Los aprobados como aditivos para alimentos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Extractos naturales. Son los derivados de plantas, hierbas, especias y/o frutas. Dentro de los más populares están el romero, tomillo, orégano, canela, extracto de té verde o de semillas de uvas y ajo. La mayoría están disponibles en forma de oleorresinas que se pueden incluir en las formulaciones para adobado de la carne fresca.
- Fenólicos. También conocidos como antioxidantes sintéticos, estos son usados en muy pequeñas cantidades (partes por millón) y son restringidos por las regulaciones de cada país. Este grupo incluye hidroxianisol butilado (BHA, por sus siglas en inglés), hidroxitolueno butilado (BHT), butilhidroxiquinona terciaria (TBHQ) y propil galato.
- Con base de vitamina. Los más populares son el ácido ascórbico, palmitato ascorbil, ácido cítrico (formas de vitamina C), y tocoferoles. Éstos tienen un efecto significativo en el color de la carne fresca, en particular, el alfa-tocoferol (vitamina E) que ha demostrado ser el más efectivo en la mejora del color de la carne. Para ello se ha incluido en dietas de cebo de terneros con el fin de incrementar la estabilidad de los lípidos y así evitar la formación de aromas extraños de oxidación (Faustman *et al.*, 1998). Su función antioxidante requiere que el compuesto sea depositado naturalmente en y alrededor de las paredes celulares para ser más efectivo. Además, esta vitamina aumenta la estabilidad de los pigmentos de la carne, retrasando la formación de MMb (Liu *et al.*, 1996). La carne suplementada de esta manera presenta mayores valores de coordenada roja (a^*) y menor tono que la carne control siendo mejor valorada por los consumidores (Chan *et al.*, 1996).

Cuando se utilizan antioxidantes en combinación de dos o más, su acción es reforzada. Este efecto de sinergia es bastante explotado por la industria alimenticia. Un ejemplo es el uso de extracto de romero con vitamina C, que aumenta la estabilidad del color y extiende la vida útil de la carne fresca envasada.

En un estudio realizado en la Universidad de Zaragoza, 2005, se utilizaron métodos combinados para prolongar la vida útil de los productos cárnicos frescos. Para ello, se estudió el efecto de diversos antioxidantes (extracto de romero, ácido ascórbico, té verde y rojo, pimienta blanca y negra, pimienta dulce y picante y harina de semilla de borraja), siendo la mezcla de romero y ácido ascórbico la que inhibió en mayor medida la oxidación de lípidos y mioglobina, dando lugar a una menor velocidad de decoloración y formación de olores de deterioro y, por tanto, a extender la vida útil de la carne fresca, (Martínez, 2005).

En otras pruebas, se agregó extracto de romero a la película de polipropileno comúnmente usada para envasar la carne recién cortada en las carnicerías, creando así un "envase activo". La película con romero mantuvo los filetes de carne de bovino con una apariencia fresca durante 14 días bajo condiciones similares a las que se encuentran en los supermercados. El uso de romero también aumentó la vida útil dos días cuando se comparó con la carne envasada en atmósfera modificada. En un estudio más, éste realizado por investigadores mexicanos, se desarrolló un material de envasado activo al agregar 45,000 ppm de alfa-tocoferol a polietileno de baja densidad. Comparando los filetes de *Longissimus dorsi* de bovino envasados en atmósfera modificada y en el tradicional envuelto con película plástica PVC, el material de envasado activo fue el segundo después del de MAP y mostró que existe un efecto favorable en conservar el color rojo de la carne fresca de bovino cuando se usa un antioxidante en la película de envasado, (Rocha, 2008).

Por otra parte, y para medir el efecto del sistema antioxidante, en la industria cárnica se utiliza el método del TBA. Se ha encontrado una buena correlación entre la aceptación de la carne por el consumidor y los niveles límites de rancidez, expresada a través del consumo de

ácido tiobarbitúrico (TBARS) en caracterizaciones fisicoquímicas, (Aspé *et al.*, 2008). Productos secundarios de la oxidación reaccionan con el ácido 2-tiobarbitúrico (TBA), formando un complejo de color que se mide con un espectrofotómetro. El número TBA se obtiene en gramos de manolaldehído/kilo de carne, y cuanto menor sea, mejor es el sistema antioxidante.

5. TÉCNICAS DE MEDIDA DEL COLOR

La apreciación del color de un objeto está determinada por las características de la luz con la que es iluminado, por las propiedades ópticas del propio objeto y por el observador o detector que reciba las longitudes de onda procedentes del mismo (Hunt *et al.*, 1991). Por tanto, para el estudio del color es necesario estandarizar los distintos aspectos que pueden afectar al mismo. Así, la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE, 1986) ha normalizado distintos tipos de luces, utilizados como iluminantes estándar, y ha definido las características de un observador estándar, cuya visión del color es representativa del promedio de la población humana.

El objeto, en función de sus propiedades ópticas, va a absorber, reflejar o dispersar ciertas longitudes de onda. Estas propiedades van a estar determinadas en primer lugar, por el contenido y distribución de los pigmentos, que son los compuestos ópticamente activos. Además hay que tener en cuenta la composición y distribución del resto de componentes y las características de la superficie, ya que pueden modificar las propiedades de absorción y dispersión de la luz por la muestra y por tanto, el color de la misma.

Las técnicas para medir el color son muy variadas. En general los métodos instrumentales reproducen con la suficiente precisión el color de manera que no resultan tan necesarios, en este caso, los métodos sensoriales. Se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- 1- Químicos: Basados en la medida del contenido en pigmentos de la carne.
- 2- Instrumentales físicos: se obtiene fundamentalmente mediante reflectómetros, colorímetros o espectrocolorímetros. Se trata del color físico, característico del estímulo. Es la energía radiante que determina los diferentes colores percibidos por los observadores reales o el color interpretado de manera objetiva por un instrumento óptico.
- 3- Sensoriales: Valorados por observación directa de un jurado que dará una nota global sobre el color o responderá acerca de la valoración cromática, de coloraciones o aceptabilidad según color, o bien por patrones plásticos, como el Atlas de Munsell o similares. Se trata del color percibido, que se corresponde con el atributo de la respuesta. Es la luz percibida de un observador real al estímulo de un sistema visual por la energía radiante.

En el presente estudio se llevarán a cabo y se presentarán los resultados de los dos primeros. A continuación se explican con más detalle.

5.1 ANÁLISIS QUÍMICO DEL CONTENIDO DE PIGMENTOS DE LA CARNE

El análisis químico consiste en medir la cantidad de pigmentos presentes en el músculo. El método Hornsey (1956) es un método indirecto simple y rápido que permite determinar el conjunto de hierro de la mioglobina y la hemoglobina (hierro hemínico). Como el contenido de hemoglobina residual es muy bajo, la estimación de la tasa de mioglobina obtenida de esta forma es muy cercana al valor real.

Los diferentes estados químicos del pigmento tienen curvas de reflectancia y de absorción diferentes, así como variables distintas según la longitud de onda emitida.

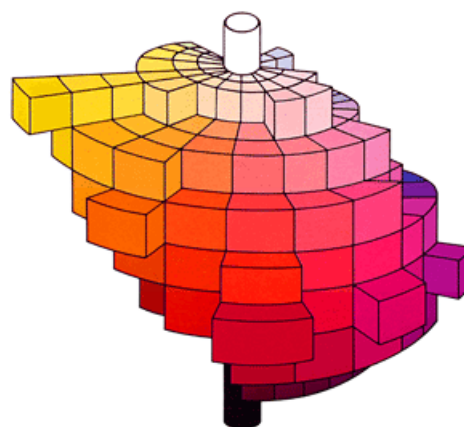
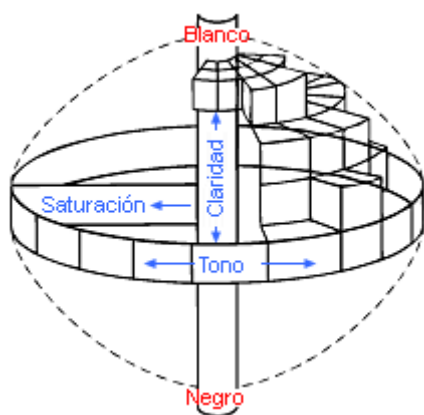
Para llevar a cabo esta determinación, se toman 5 g de carne, se pican y añade 1 ml de H₂O destilada. Más tarde se adicionan 20 ml de acetona, para extraer la mioglobina, y 0'5 ml de ácido clorhídrico (35%). A continuación, se deja 24 horas en una cámara con refrigeración y oscuridad. Tras la extracción del pigmento, se mide la densidad óptica (DO) con un espectrofotómetro a 512 nm. Los resultados se expresan en µg mioglobina/g de músculo y posteriormente en porcentaje.

5.2 ANÁLISIS INSTRUMENTAL DEL COLOR DE LA CARNE. EVALUACIÓN FÍSICA – ESPECTROCOLORÍMETRO DE REFLECTANCIA

La visión del color tiene un carácter tridimensional. Así, para un observador normal un color puede ser especificado por tres atributos:

- El **tono** (“Hue”) para la CIE, es el atributo de la sensación visual según el cual el estímulo aparece similar a uno de los colores percibidos como rojo, amarillo, verde o azul, o a ciertas proporciones de dos de ellos. En el caso del color del músculo, el estado químico del pigmento influido por la oxidación de la mioglobina (mioglobina de color rojo púrpura, oximioglobina de color rojo vivo, metamioglobina de color pardo), determinará el tono del color. Está relacionado con los factores post-mortem. Al calcularlo, si su valor es negativo habrá que sumarle 180 grados.
- El **croma** (“Chroma”) también denominado saturación, pureza o intensidad de color, permite distinguir colores fuertes o vivos frente a débiles. Un color presenta menor croma cuanto más tiende hacia el gris o blanco y mayor cuanto más se acerca a una longitud de onda pura. Se relaciona con los factores ante-mortem. La cantidad de pigmento en el músculo (mioglobina) determinará la saturación del color. En la grasa será el depósito de pigmentos procedentes del alimento, tales como xantofilas, carotenos, etc.
- La **claridad** (“Lightness”) es el atributo de la sensación visual por la que el área en que se presenta el estímulo parece emitir más o menos luz en proporción a la emitida por un área similar iluminada que se perciba como blanco. Nos permite distinguir entre colores claros y oscuros, presentando la máxima luminosidad el blanco y la mínima el negro. Se halla correlacionada con el estado físico de la carne, debido al pH final del músculo, la estructura de las fibras musculares y la cinética en la instalación del *rigor mortis*.

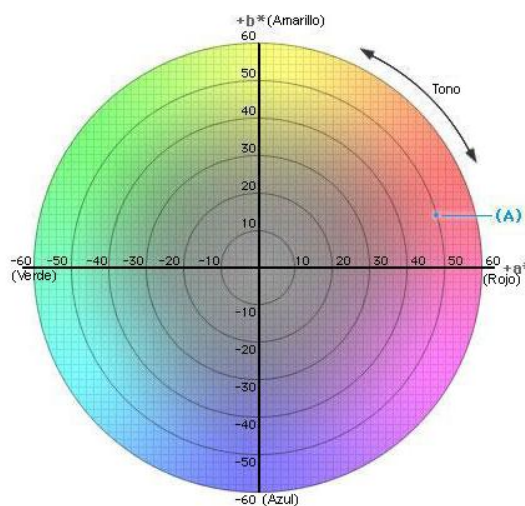
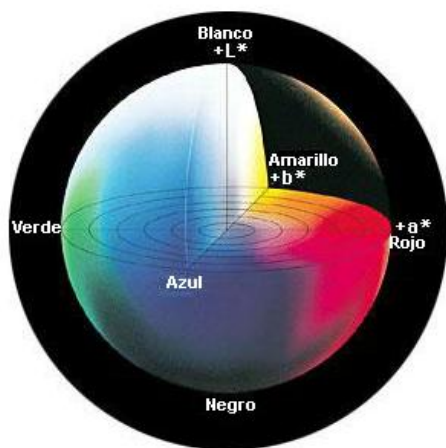
Estos tres elementos pueden combinarse para crear el sólido tridimensional que se muestra en las Fig.19 y 20.



Figuras 19 y 20. Distribución tridimensional del sólido de color. Relación entre tono, luminosidad y saturación (Fig.19) y Sólido de colores (Fig.20). Fuente: Konika Minolta

Los tonos conforman el borde exterior del sólido, con la luminosidad como el eje central y la saturación como los radios horizontales. Si los colores reales que existen en el mundo se distribuyeran en torno al sólido mostrado en esta figura, se crearía el sólido de colores que se presenta en la Figura 20. La forma del sólido de colores es un tanto complicada debido a que el tamaño de los pasos para la saturación es diferente para cada tono y luminosidad, pero el sólido de colores ayuda a visualizar mejor la relación entre tono, luminosidad y saturación.

Para poder especificar el color de forma objetiva, la CIE ha definido distintos sistemas de medida en los que el color viene dado mediante tres coordenadas. Los dos sistemas más conocidos son el sistema Yxy, creado en 1931 basándose en los valores triestímulos XYZ definidos por la CIE, y el sistema $L^*a^*b^*$, creado en 1976 para proporcionar diferencias de color más uniformes en relación con las diferencias visuales (Fig.21). Este último será el que utilizaremos en el presente proyecto. En este sistema todos los colores con la misma claridad se encuentran en un mismo plano circular a través del cual se cruzan los ejes a^* y b^* (Fig.22).



Figuras 21 y 22. Representación del sólido de colores para el espacio $L^*a^*b^*$ (Fig.21) y Diagrama de cromaticidad de a^* y b^* , sólido de colores cortado horizontalmente en un valor constante de L^* (Fig.22). Fuente: Konika Minolta

L^* es el valor de claridad ya definido [0 (negro); 100 (blanco)]. La coordenada a^* representa la oposición visual rojo-verde ($a^*>0$ rojo; $a^*<0$ verde) y la coordenada b^* representa la oposición visual amarillo-azul ($b^*>0$ amarillo; $b^*<0$ azul).

El paso de las coordenadas cartesianas a^* y b^* a las coordenadas polares tono (H^*) y croma (C^*) se realiza de la siguiente manera:

- El **tono** (H^*) es proporcional al ángulo formado con el eje a^* y se calcula como $\arctg(b^*/a^*)$ de 0 a 360 grados.
- El **croma** (C^*) es proporcional a la distancia al centro y se puede obtener como la raíz cuadrada de $((a^*)^2 + (b^*)^2)$ de 0 a 200. (Fig.23).

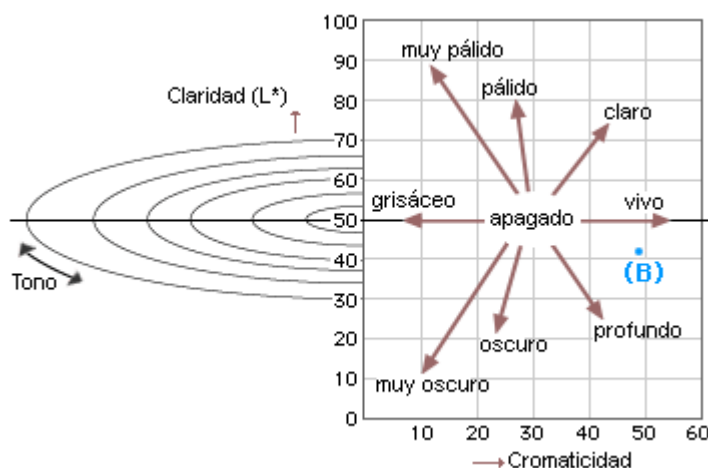


Figura 23. Vista de la cromaticidad frente a la luminosidad en un corte del sólido de colores. Fuente: Konika Minolta

El sistema CIELAB es el más importante y se basa en el concepto de la mezcla aditiva del color. Para la medida de los parámetros del color se utilizan espectrofotómetros y espectrocolorímetros.

Son los aparatos que mejor responden a las necesidades de investigación en el campo del color ya que permiten la obtención de un espectro de reflexión en todo el campo de la luz visible, lo que posibilita el cálculo de todas las características del color.

Ambos estudian el espectro visible, el primero a través de la transmisión y el segundo mediante la reflexión. A partir del espectro se obtienen índices y color. La reflectancia es casi una función lineal de la longitud de onda de 0,3 a 420 nm hasta los alrededores de 0,7 a 700 nm, siendo la mioglobina y sus derivados los principales responsables de la absorbancia selectiva de las carnes rojas, si bien, los diferentes estados químicos del pigmento tienen curvas de reflexión y absorción diferentes y variables según la longitud de onda emitida.

Dentro del espectro visible, los pigmentos hemínicos presentan un espectro de reflectancia característico, estudiado en el apartado 1.2 de este capítulo (Fig.6).

Para el **análisis físico** del color el instrumento de medición de este estudio es el Espectrocolorímetro Minolta CM 2002, con el iluminante D65 y el observador patrón CIE 1964,

que abarca un ángulo de visión de 10°. Se seguirá el protocolo presentado por (Alberti *et al.*, 2005).

Los porcentajes de los pigmentos de la carne, mioglobina (Mb), oximioglobina (MbO₂), y metamioglobina (MMb) fueron obtenidos mediante la **medida por reflectancia** en la superficie de la carne por el método desarrollado por (Hunt *et al.*, 1991).

El espectro de reflectancia obtenido para una pieza de carne tras el corte se considera que es 100% de Mb. Tras el tiempo de oxigenación (*blooming*), la pieza permanece 1 hora en contacto con el aire en una bandeja con un film permeable al oxígeno, y el espectro de reflectancia se considera que es 100% de MbO₂. Finalmente, la pieza de carne se convierte en 100% de MMb cuando se introduce la carne en una solución de 0,5% de ferricianuro potásico.

CAPITULO III: OBJETIVOS

OBJETIVOS

Los objetivos a alcanzar con la realización del presente trabajo son:

1. Estudiar el efecto de la dieta con distinto contenido energético en la estabilidad del color de la carne de ternera.
2. Estudiar la evolución de las coordenadas de color en carne madurada y no madurada, durante el *blooming* o aireación de la carne, para establecer el momento de medida en el cual se obtengan valores de $L^*a^*b^*$ estabilizados y representativos de las características del color de la carne.
3. Estudiar el efecto de la dieta de los animales y la posterior maduración de la carne en las coordenadas de color y en el estado químico de sus pigmentos.
4. Estudiar la vida útil de la carne procedente de terneros sometidos a las dos dietas con diferente energía, utilizando dos tratamientos diferentes de conservación, atmósfera modificada y film permeable al oxígeno, mediante la determinación de medidas colorimétricas y del porcentaje de metamioglobina.

CAPITULO IV: MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL Y MÉTODOS

1. MATERIAL ANIMAL

Para el presente estudio se han utilizado un total de ocho terneros machos de raza Pirenaica, criados bajo la IGP (Indicación Geográfica Protegida) Ternera de Navarra-Nafarroako Aratxea. Los animales fueron sacrificados en octubre de 2009, con 18 meses de edad. Cuatro de ellos fueron alimentados con una dieta energética y los cuatro restantes con una dieta de menor aporte energético.

Hasta los 12 meses todos ellos estuvieron alimentados con la misma ración. Desde ese momento hasta la edad de sacrificio, 18 meses, a los terneros alimentados con la dieta A, se les suministró la dieta de alta energía durante los seis meses de duración del cebo. Los animales con dieta de baja energía, tuvieron una primera dieta B1 durante el primer mes y, posteriormente, una segunda ración de baja energía B2 que consumieron desde el segundo mes hasta el final del cebo. La composición de las materias primas principales de dichas dietas se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Materias primas de las Dietas A, B1 y B2

Materia Prima	Dieta A	Dieta B1	Dieta B2
Cebada 2 carreras	26,0%	22,5%	24,4%
Maíz Francés	50,0%	45,0%	40,0%
Hna. Soja 44	17,0%	17,0%	17,0%
Paja de Cereales	-	10,0%	15,0%
Ac. Palma	4,0%	2,5%	0,6%
Carbonato Cálcico (CaCO3)	0,9%	0,9%	0,9%
Fosfato Bicálcico	0,2%	0,2%	0,2%
Sal (Terrest)	0,4%	0,4%	0,4%
Corrector Tern-0,4%	1,5%	1,5%	1,5%
Total:	100,0%	100,0%	100,0%

La composición de cada dieta se detalla en la tabla 4. La ración de alta energía fue de: 88,33 % materia seca, 14,56% proteína bruta, 2.914,2 Kcal/kg energía metabolizable y 1,09 unidades forrajeras carne/kg. La composición de la ración de baja energía fue: 88,70% materia seca, 14,08% proteína bruta, 2.548,48 Kcal/kg energía metabolizable y 0,91 unidades forrajeras carne/kg. En total, la dieta A contiene un 12% más de energía metabolizable para los terneros.

Tabla 4. Composición de los nutrientes de las dietas A y B

	% Materia Seca	% Proteína Bruta	Energía Metabolizable	UFC/kg
Dieta A	88,3%	14,6%	2914,2 kcal/kg	1,09
Dieta B	88,7%	14,1%	2548,48 kcal/kg	0,91

UFC: Unidades forrajeras carne

El consumo de los terneros del lote de alta energía fue de 9,25 kg por día mientras que el consumo de los terneros del lote de baja energía fue de 10 kg por día, por lo tanto los terneros del lote de alta energía ingirieron 10,07 UFC/ternero/día y los del lote de baja 9,1 UFC/ternero/día (Tabla 5).

Tabla 5. Consumo de los animales en cada dieta

	Consumo kg/día	Consumo UFC/ternero/día
Dieta A	9,25	10,07
Dieta B	10	9,1

Los animales que fueron alimentados con la dieta de alta energía tuvieron una GMD (Ganancia Media Diaria) total de 1,247 kg/día, mientras que en los animales del lote de baja energía el valor de la GMD total fue de 1,121 kg/día.

2. SACRIFICIO

Los animales fueron sacrificados a los 18 meses de edad (555 días) y con un peso medio de 515 kg. La clasificación media de las canales según la clasificación SEUROP fue: U3-. El sacrificio se realizó en el matadero de Pamplona, (localidad de Orcoyen) situado a 12 km de la Universidad Pública de Navarra, de acuerdo con la legislación vigente de manipulación y sacrificio de animales (DOCE, 1999).

3. TOMA DE MUESTRAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La toma de muestras tuvo lugar 24 horas *post-mortem*. Se extrajo el músculo *Longissimus lumborum* de la media canal izquierda, y se envasó a vacío en la sala de despique del matadero. A continuación, se trasladó el material al laboratorio de la UPNA.

Una vez en el laboratorio se procedió a distribuir las muestras según el esquema de la Figura 24:

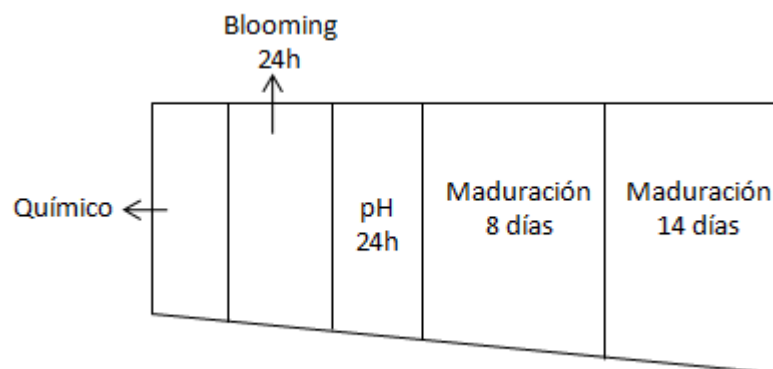


Figura 24. Fileteado del lomo posterior

Las piezas destinadas a estudiar la composición química (pigmentos, porcentaje de grasa y humedad) se envasaron al vacío y fueron congeladas inmediatamente (24 horas *post-mortem*).

Con la carne en fresco se realizó el análisis representado en el esquema de diseño experimental de la Figura 25:

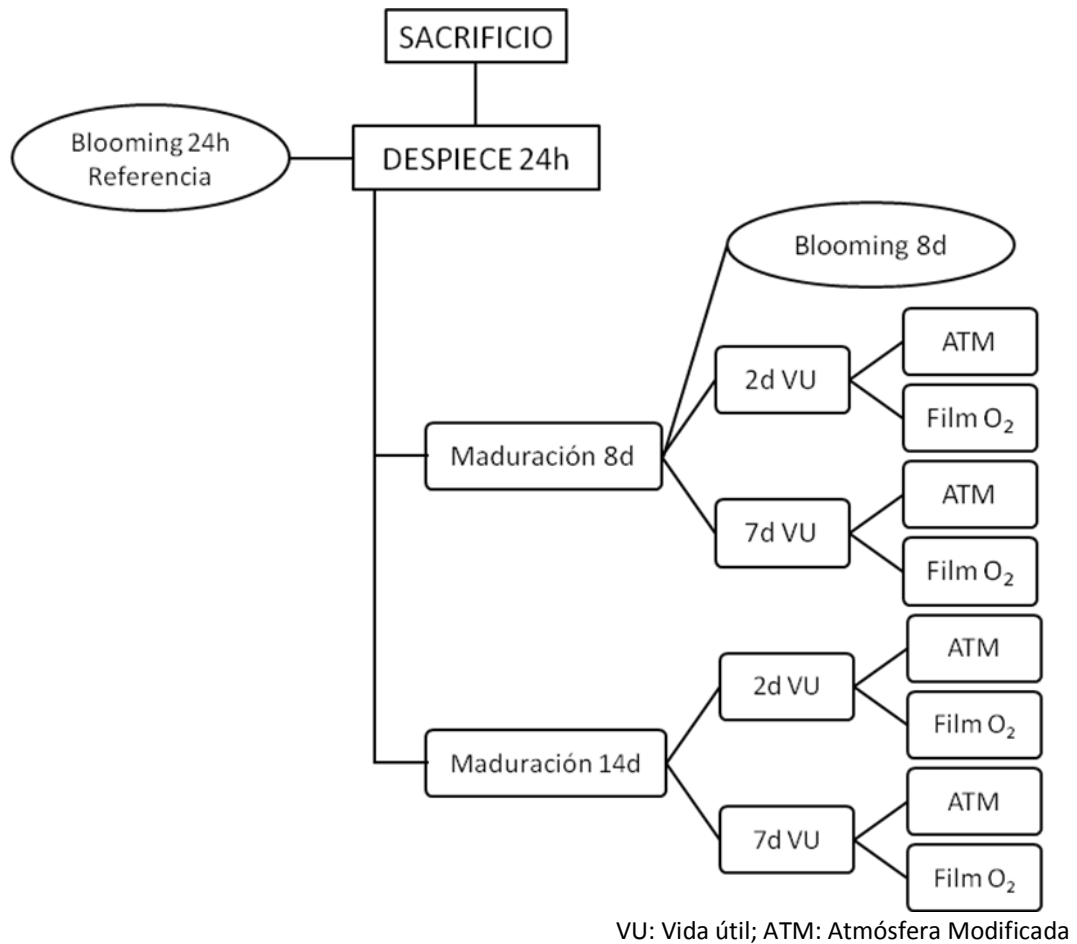


Figura 25. Diseño experimental del análisis realizado

- Carne 24h: en el momento del despiece, se realizó la medida del pH, y un primer análisis de Blooming, durante 102 minutos con el Espectrocolorímetro Minolta CM 2002 (Fig.26), obteniendo medidas de color $L^*a^*b^*$. Las medidas se tomaron cada 3 minutos, haciendo 5 repeticiones en cada muestra. Ese mismo día se envasaron a vacío las piezas destinadas a maduración.



Figura 26. Espectrocolorímetro Minolta CM 2002 utilizado en el estudio

- Carne madurada 8 y 14 días: se realizó un estudio de la vida útil a 2 y 7 días siguiendo dos tratamientos diferentes: un film permeable al O₂ y un envase en atmósfera modificada (ATM) con una composición de 80% de O₂ y 20% de CO₂. Por lo tanto, las cuatro piezas fileteadas fueron:
 1. Control: film permeable al oxígeno 2 días.
 2. Control: film permeable al oxígeno 7 días.
 3. ATM 2 días.
 4. ATM 7 días.

Para la toma de medidas también se utilizó el Espectrocolorímetro Minolta CM 2002, realizando 5 repeticiones por muestra.

En las Figuras 27 y 28 se muestran los envases preparados en el laboratorio para el estudio de la vida útil, y en la Figura 29, el equipo utilizado para envasar las muestras.



Figuras 27 y 28. Muestras de vida útil en film permeable al O₂ (27) y en ATM (28)



Figura 29. Equipo de envasado

El estudio de la vida útil de la carne pretende someterla a las condiciones en las que éstas se encuentran en los establecimientos de venta, y para ello se mantuvieron las muestras en un expositor (Fig.30) a una temperatura de 2 °C con 12 h de luz durante el día y por las noches en una cámara frigorífica sin luz a 4 °C (Fig.31).



Figuras 30 y 31. Expositor con luz (Fig.30) y Cámara frigorífica (Fig.31) de la planta piloto

4. MEDIDAS ANALÍTICAS

- MEDIDA DEL pH

Para las medidas del pH se siguió la ISO 1974, y se utilizó un pHímetro Orion Research potentiometer (Orion Research Inc. Barcelona, Spain) para muestras sólidas.

- MEDIDA DE LA GRASA INTRAMUSCULAR

Los porcentajes de grasa intramuscular se obtuvieron utilizando el método Soxhlet (ISO, 1973).

- ANÁLISIS DE LA HUMEDAD

El cálculo de los porcentajes de humedad de la carne se realizó mediante el método desarrollado en la ISO 1442, 1973. Éste consiste en desecar la muestra hasta peso constante.

- ANÁLISIS QUÍMICO DEL CONTENIDO EN PIGMENTOS DE LA CARNE

El análisis químico se realizó mediante el método Hornsey (1956), que se basa en la extracción de mioglobina con acetona y HCl.

Posteriormente, tras la extracción del pigmento, se midió la densidad óptica (DO) a 512 nm con un espectrofotómetro Shimadzu (UV-2101).

La concentración final de pigmentos se expresó en μg mioglobina/g de músculo y posteriormente en %.

- **MEDIDA DEL COLOR** ($L^*a^*b^*$ y reflectancia)

○ **Medida de coordenadas $L^*a^*b^*$:**

Se siguió el sistema $L^*a^*b^*$ desarrollado por el CIE, 1976, donde L^* es el valor de la luminosidad, la coordenada a^* representa la oposición visual rojo-verde y la coordenada b^* representa la oposición visual amarillo-azul, (Alberti *et al.*, 2005).

El instrumento de medición es el Espectrocolorímetro Minolta CM 2002, con el iluminante D65 y el observador patrón CIE 1964, que abarca un ángulo de visión de 10° .

Las mediciones se hicieron en zonas homogéneas y representativas, libres de grasa intramuscular y de manchas de sangre, y se realizaron cinco lecturas en distintas zonas del corte.

○ **Pigmentos de la carne por reflectancia:**

Los porcentajes de los pigmentos de la carne, deoximioglobina (Mb), oximioglobina (MbO_2), y metamioglobina (MMb) fueron obtenidos mediante la medida por reflectancia en la superficie de la carne (Hunt *et al.*, 1991).

La relación entre el coeficiente de absorción (K) y de dispersión (S) de la luz sobre la carne (K/S) varía con la cantidad total de luz reflejada (reflectancia R_λ) y se utilizan los cocientes de los diferentes valores de K/S en diferentes longitudes de onda para cada uno de los pigmentos. Estos valores están en relación con los puntos isobécticos de los pigmentos, y muestran una relación directa entre ellos y su concentración.

Los cocientes utilizados son:

- $K/S_{474} / K/S_{525}$ para la estimación de la deoximioglobina o Mb reducida
- $K/S_{572} / K/S_{525}$ para la estimación de la metamioglobina o Mb oxidada
- $K/S_{610} / K/S_{525}$ para la estimación de la oximioglobina o Mb oxigenada

Para estimar las proporciones de los tres pigmentos, se debe realizar la conversión de éstos al 100% para tenerlos como valores de referencia. Para ello se siguió la siguiente metodología:

- **Deoximioglobina:** se colocaron las muestras en una solución de sódico ditionito ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) al 10% durante 1 minuto. A continuación, se sacaron y se retiró el sobrante mediante un papel secante. Se envasaron a vacío y se dejaron 2 horas a temperatura ambiente. Después, nada más abrirlas se realizaron las medidas.
- **Metamioglobina:** se colocaron las muestras en una solución al 1% de ferricianuro potásico [$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$] durante 1 minuto. A continuación, se sacaron, retirando el sobrante, y se envolvieron con un film permeable al oxígeno para dejarlos 12 horas en refrigeración a 2°C . Por último, se realizaron las medidas.

- **Oximiglobina:** se colocaron las muestras entre 0 y 2°C en una atmósfera con alta proporción de oxígeno, y se realizó una oxigenación mediante un flujo de 100% de oxígeno durante 10 minutos. Tras esto se realizaron inmediatamente las mediciones.

A continuación, se calcularon los valores de referencia de K/S para el 100% de cada uno de los tres pigmentos. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de referencia de K/S calculados para el 100% de cada uno de los tres pigmentos

	K/S 474/525	K/S 572/525	K/S 610/525
Mb	1,60	0,84	1,95
MMb	1,07	1,52	1,66
MbO₂	1,17	0,59	2,52

Una vez obtenidos los valores de referencia de K/S, se calcularon las proporciones de los pigmentos en las muestras problema utilizando las fórmulas descritas por Hunt *et al.*, (1991):

$$\% \text{ Deoximiglobina} = \frac{\frac{\text{K/S 474 para 100 \% de MMb}}{\text{K/S 525}} - \frac{\text{K/S 474 para la muestra}}{\text{K/S 525}}}{\frac{\text{K/S 474 para 100 \% de MMb}}{\text{K/S 525}} - \frac{\text{K/S 474 para el 100 \% de Mb}}{\text{K/S 525}}} * 100$$

$$\% \text{ Metamiglobina} = \frac{\frac{\text{K/S 572 para 100 \% de Mb}}{\text{K/S 525}} - \frac{\text{K/S 572 para la muestra}}{\text{K/S 525}}}{\frac{\text{K/S 572 para 100 \% de Mb}}{\text{K/S 525}} - \frac{\text{K/S 572 para el 100 \% de MMb}}{\text{K/S 525}}} * 100$$

$$\% \text{ Oximiglobina} = 100 - (\% \text{ Deoximiglobina} + \% \text{ Metamiglobina})$$

- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS 17.0, (2008).

Dada la influencia que la composición inicial de la carne tiene en el color y a que se han estudiado varios factores (maduración, vida útil y tratamiento), el estudio estadístico se ha realizado por separado para la carne de los animales de alta energía y los de baja energía.

Para el estudio del blooming o aireación de la carne: se aplicó el test t-Student de comparación de medias dependientes.

Para el estudio del efecto de la maduración y de la vida útil: se aplicó el modelo lineal general siguiendo los modelos que se presentan a continuación:

- Para el efecto de la maduración:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + M_j + D_i * M_j + E_{ijk}$$

donde:

- Y_{ijk} representa la variable de color LabCH y los pigmentos
 - μ representa la media de la población
 - D_i representa el efecto de la dieta ($i=1$: baja energía; $i=2$: alta energía)
 - M_j representa el efecto de la maduración ($j=1$: 24h; $j=2$: 8 días; $j=3$: 14 días)
 - E_{ijk} representa el error asociado a cada observación
- Para el estudio de la vida útil se aplicó el siguiente modelo estadístico para cada dieta por separado:

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + VU_j + T_k + M_i * VU_j + M_i * T_k + VU_j * T_k + M_i * VU_j * T_k + E_{ijkl},$$

donde:

- Y_{ijkl} representa la variable de color LabCH y los pigmentos
- μ representa la media de la población
- M_i representa el efecto de la maduración ($i=1$: 24h; $i=2$: 8 días; $i=3$: 14 días)
- VU_j representa el efecto de la vida útil ($j=1$: 2 días; $j=2$: 7 días)
- T_k representa el efecto del tratamiento ($k=1$: atmósfera modificada; $k=2$: film permeable al oxígeno)
- E_{ijkl} representa el error asociado a cada observación

Así mismo se realizó un análisis descriptivo para conocer medias y desviaciones típicas y un test de Tukey, con el objetivo de conocer las diferencias entre medias para los parámetros en los que se habían obtenido resultados significativos.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE OBTENIDA DE TERNEROS ALIMENTADOS CON DIETA DE ALTA Y BAJA ENERGÍA

En la tabla 7 se observan las medidas de canal y de la carne obtenida a partir de los terneros alimentados mediante las dos dietas.

Tabla 7. Descripción de los Terneros (A: alta energía, B: baja energía)

	Dieta A		Dieta B		Sig.
	Media	Desv.Estándar	Media	Desv.Estándar	
Edad (días)	557	25,22	554	31,70	ns
Peso vivo (kg)	813	35,73	784	27,49	ns
Peso canal (kg)	523	23,07	510	19,05	ns
GMD (kg/día)	1,25	0,20	1,12	0,09	ns
pH	5,56	0,10	5,50	0,12	ns
Grasa (%)	2,40	0,97	2,30	1,00	ns
Humedad	73,33	1,37	73,22	0,54	ns
Pigmentos a 512nm (mg/g)	5,34	0,74	4,74	0,64	ns

ns: $p > 0,05$

GMD: Ganancia Media Diaria

Todos los animales fueron sacrificados a los 18 meses, sin embargo, los animales del lote de alta energía presentaron un peso vivo y un peso canal aparentemente mayor que los de baja. Aunque este valor no resulta significativo, las diferencias son debidas a que la ingesta de la dieta A aporta mayor energía metabolizable, y por tanto más Unidades Forrajeras de Carne (UFC) por kg consumido, 1,09 UFC/kg frente a 0,91 UFC/kg de la dieta B. Así mismo, la ganancia media diaria (GMD) de los terneros alimentados con la dieta A (1,25 kg/día) es mayor que para los animales de la dieta B (1,12 kg/día).

La medida del pH se realizó en el momento del despiece, a las 24h *postmortem*. Se observó un pH medio ligeramente más elevado en el caso del lote de alta energía que en el de baja, pero tampoco hay diferencias significativas ($P > 0,05$). Además, en ambos casos el valor del pH fue adecuado para la carne de vacuno, por lo que no hubo ningún caso de carne DFD (oscura, firme y seca). La aparición de pH elevados (cerca de o superiores a 6,0) origina en la carne el defecto de carne oscura o DFD, (Mac Dougall y Rhodes, 1972; Renerre y Valin, 1979). La carne es más oscura cuando el pH último es elevado debido a dos razones principalmente. Por un lado, el agua se encuentra fuertemente ligada a las proteínas (Hamm, 1986), lo que produce una estructura cerrada en el músculo (Renerre, 1981; Faustman y Cassens, 1990), que implica una mayor absorción de la luz y, por tanto, la carne aparece más oscura. Por otro lado, la respiración celular de la carne se incrementa disminuyendo la disponibilidad del oxígeno para la formación de MbO₂, por lo que el color reflejado proviene principalmente de la mioglobina reducida (MacDougall, 1982; Egbert y Cornforth, 1986). La carne con pH último elevado presenta unos valores de luminosidad, coordenada a* y saturación del color inferiores a los de la carne normal y un tono más púrpura ($< H^*$) (MacDougall y Rhodes, 1972; Guignot *et al.*, 1994).

En cuanto al análisis de la cantidad de grasa intramuscular o soxhlet, la carne obtenida a partir de la dieta A, presentó un porcentaje graso similar al de la carne de la dieta B (2,4 vs 2,3%).

Del análisis químico del color del músculo se observa que la carne de ambos lotes tuvo humedad similar, y que la carne del lote A presentó una mayor concentración de pigmentos (5,34 mg/g) que la obtenida mediante la dieta de baja energía (4,74 mg/g). En este sentido, Miltenburg *et al.* (1992) encontraron un efecto significativo del contenido en hierro de la dieta de terneros de leche, presentando mayores valores de coordenada roja (a^*) aquellos que recibieron mayor aporte del mismo. Sin embargo, los resultados muestran disconformidad con lo citado por Lawrie, (1977) que afirmó que un plano de alimentación energética elevado disminuye la concentración de pigmentos hemínicos. Berge *et al.*, (1993) y Fiems *et al.*, (1995) no encontraron diferencias en el color de la carne entre dietas con diferentes niveles de proteína. Así mismo, la sustitución de lípidos por almidón en la dieta tiende a aumentar el color rojo de la carne (Valin *et al.*, 1978).

2. ESTUDIO DEL *BLOOMING* O AIREACIÓN DE LA CARNE Y SU MADURACIÓN EN LAS COORDENADAS DE COLOR $L^*a^*b^*$

El *blooming* de la carne es el proceso en el que ésta se pone en contacto con el oxígeno, y, como consecuencia, aparece el color rojo característico de la carne fresca. Éste color rojo brillante es fruto de la oxigenación de la deoximioglobina, que al unirse con el oxígeno del aire, se convierte en oximioglobina, pigmento que imprime dicho color a la carne y que se asocia al frescor de la misma.

El interés de realizar un estudio tan detallado del *blooming*, fue conocer cómo varían las coordenadas de color, y poder establecer un momento de medida en el cual se obtengan valores de $L^*a^*b^*$ estabilizados y representativos de las características del color de la carne. Esto es importante porque las variables de color pueden utilizarse como predictoras de la vida útil y de la terneza de la carne.

En las Figuras 32, 33 y 34 se muestra la evolución de los parámetros de color $L^*a^*b^*$ durante el tiempo de *blooming* realizado a las 24h *postmortem*. En los resultados obtenidos se observa como la coordenada de luminosidad (L^*) sufre menos variación que a^* y b^* durante dicho tiempo de *blooming*.

La luminosidad se mantiene prácticamente constante y cercana a valores de 30-35 unidades, siendo pequeñas las diferencias entre los distintos animales. Además, tal y como se muestra en la Tabla 1 de Anexos, los valores de L^* se estabilizan para un tiempo próximo a 60 min. Para la coordenada a^* , los valores se encuentran entre 18-24 unidades, para la coordenada b^* , los valores se encuentran entre 8-12 unidades y ambas se estabilizan aproximadamente a 90 minutos.

Estos resultados coinciden con estudios realizados con anterioridad, Hass y Bratzler (1965), Wulf y Wise (1999), donde también afirman que en la coordenada L^* se dan menos cambios que en las coordenadas a^* y b^* durante el tiempo de *blooming*. Wulf y Wise (1999), encuentran la estabilidad de la coordenada L^* a los 33 minutos del comienzo del *blooming* y a los 78 minutos para las coordenadas a^* y b^* . Las diferencias entre los momentos de estabilización, pueden deberse a la metodología llevada a cabo para realizar el análisis de *blooming*. En el citado estudio, se toman las medidas de *blooming* sobre un corte entre las

costillas 12^º y 13^º en la línea de sacrificio, mientras que en este trabajo el *blooming* se realiza sobre el lomo fileteado a las 24h *postmortem*.

Los valores entre los que se encuentran los datos para cada una de las coordenadas de color, guardan correspondencia con los publicados por Wulf y Wise, (1999), donde para la coordenada L* se encontraban en el rango de 34-46 unidades vs 30-35 en el presente trabajo, para la coordenada a*, los datos se localizaban entre 18-26 unidades vs 18-24, y para la coordenada b* entre 6-13 vs 8-12, también en el presente trabajo.

Comparando los resultados con los datos publicados por Goñi *et al.*, (2007), en el que también se estudian terneros de raza Pirenaica, para la L* se encuentran valores muy semejantes, aunque ligeramente más bajos (ej. para el minuto 0 del *blooming*: 32,5 vs 36,5; para el minuto 60: 33,2 vs 38,4). No obstante, estas pequeñas variaciones pueden deberse a la diferencia en la edad, ya que Goñi *et al.*, trabajaron con terneros de 12 meses y en el presente estudio fueron sacrificados a los 18 meses.

Sobre la coordenada a* también se plantean algunas variaciones frente a los resultados obtenidos por Goñi *et al.*, (2007). Estas variaciones están también claramente justificadas por dicha diferencia de edad en los animales. En el presente trabajo se encuentran valores de a* ligeramente más elevados (ej. para el minuto 0 del *blooming*: 17,2 vs 12; para el minuto 60: 21 vs 14,8), dado que los animales con mayor edad presentan mayor cantidad de mioglobina, dando un color más oscuro a la carne, (Lawrie, 1977).

En la coordenada b* no se aprecian diferencias entre ambos estudios, ya que presentan valores muy parecidos en los diferentes tiempos de *blooming*, (ej. para el minuto 0 del *blooming*: 6,5 vs 7,5; para el minuto 60: 10 vs 10,2).

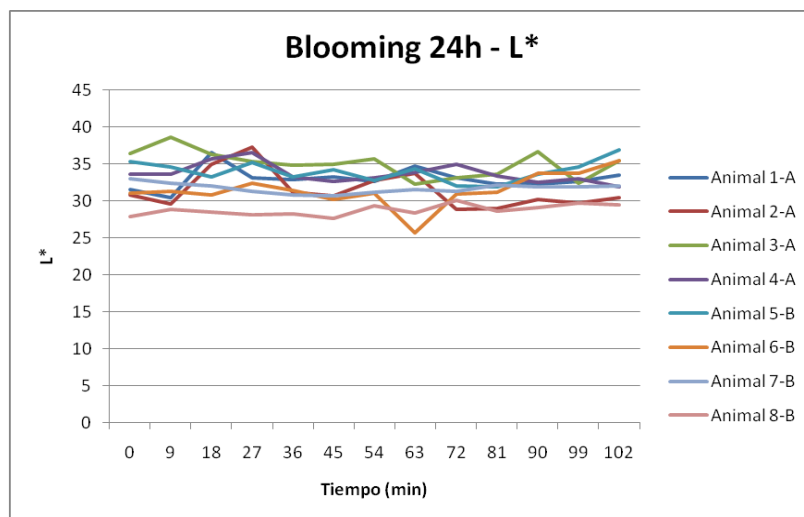


Figura 32. Evolución de la coordenada de color L* con el tiempo durante el *blooming* 24h *postmortem*

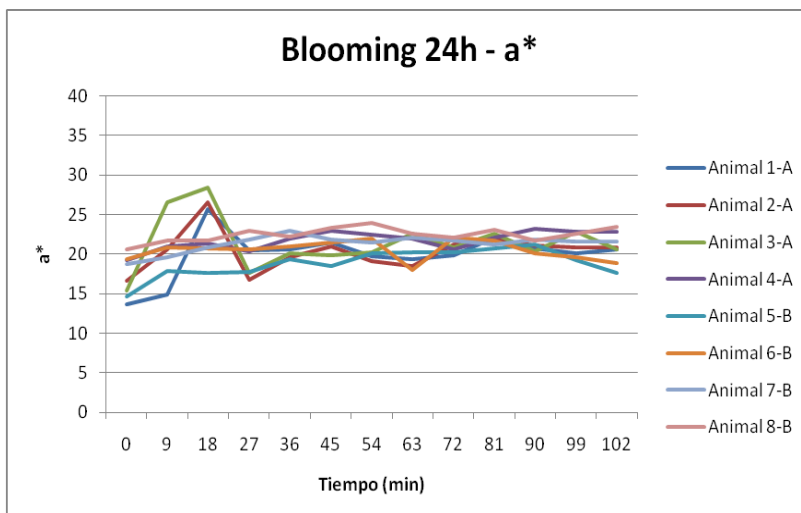


Figura 33. Evolución de la coordenada de color a^* con el tiempo durante el *blooming* 24h *postmortem*

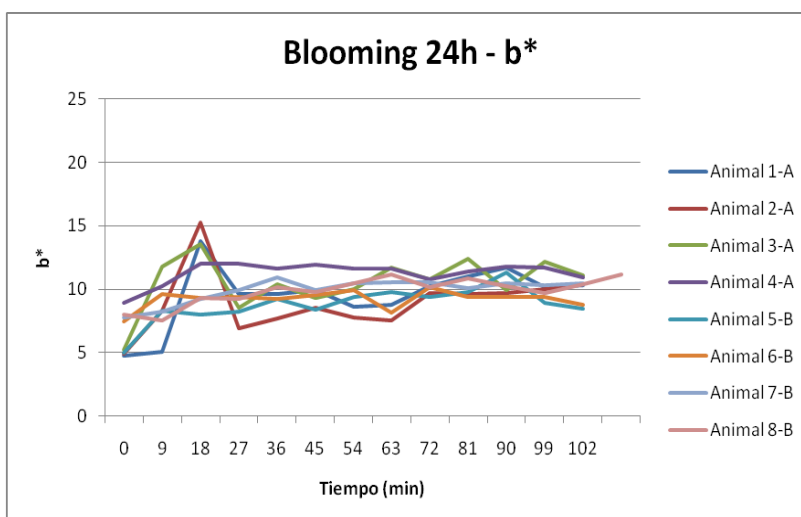


Figura 34. Evolución de la coordenada de color b^* con el tiempo durante el *blooming* 24h *postmortem*

A continuación se muestran los resultados obtenidos en un mismo estudio de *blooming*, con carne madurada 8 días.

En las figuras 35, 36 y 37 se representan la evolución de los parámetros L^* , a^* y b^* , respectivamente, en el *blooming* de la carne de los ocho animales madurada 8 días. Al igual que ocurrió con los resultados del *blooming* de 24h, la coordenada de luminosidad (L^*) sufrió menos variación que las coordenadas a^* y b^* .

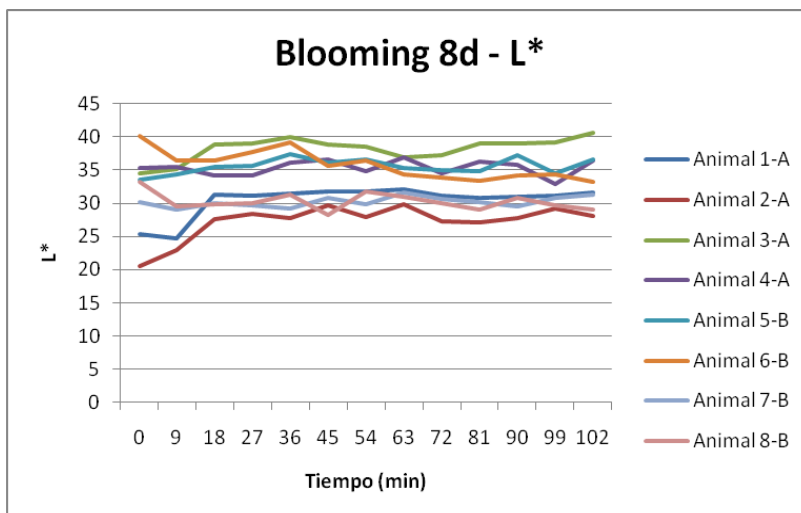


Figura 35. Evolución de la coordenada de color L* con el tiempo durante el *blooming* 8d

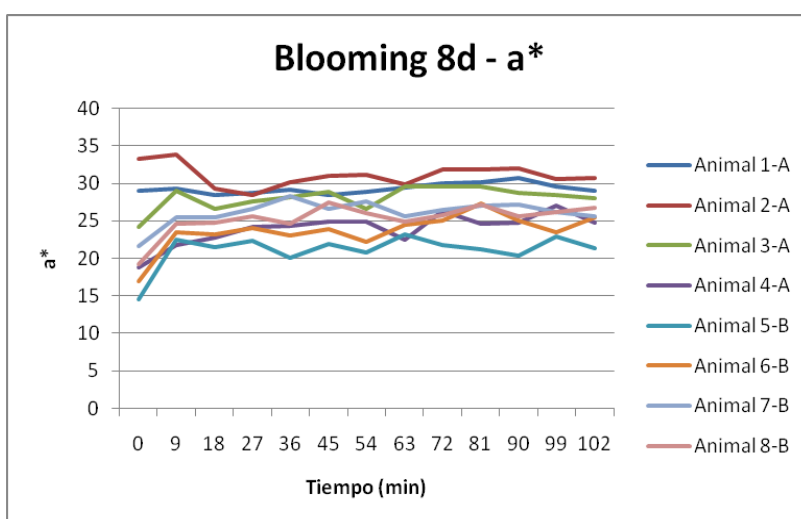


Figura 36. Evolución de la coordenada de color a* con el tiempo durante el *blooming* 8d

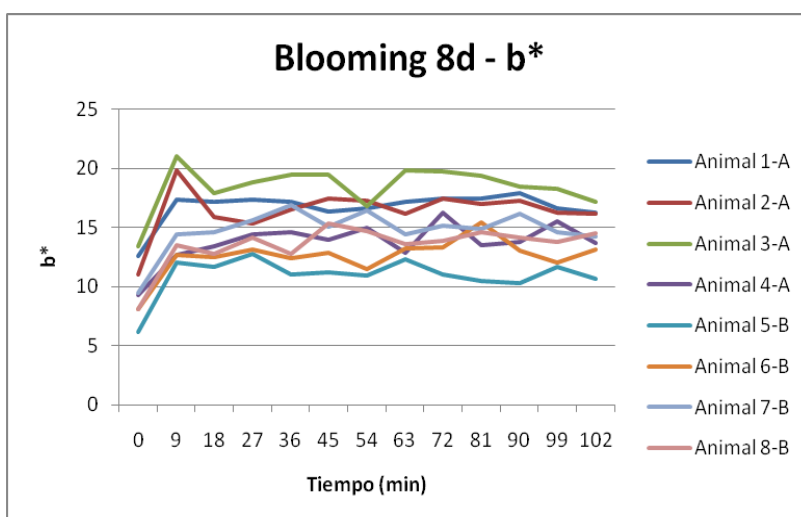


Figura 37. Evolución de la coordenada de color b* con el tiempo durante el *blooming* 8d

La diferencia encontrada en el *blooming* con la carne madurada 8 días, es que los valores de L*a*b* para la media de los animales, mostraron un intervalo más amplio de variación respecto al *blooming* realizado a las 24h. Es decir, para la coordenada L* los valores oscilaron en *blooming* de 8 días entre 27-40 unidades vs 30-35 para el *blooming* 24h, entre 20-30 vs 18-24 para la coordenada roja y entre 12-18 vs 8-12 para la coordenada b*. Por lo que, la evolución de los parámetros de color en la carne madurada presentó más variación y, por lo tanto, fue menos uniforme que la evolución representada en el *blooming* de la carne de 24h.

Por otra parte, en el *blooming* de la carne madurada, los valores de las coordenadas de color comenzaron a cambiar con el tiempo de *blooming* antes que en la carne de 24 horas, variando su valor durante un intervalo de tiempo más amplio. Esto puede ser debido a la degradación que se da en la estructura proteica durante la maduración de la carne.

3. EFECTO DE LA INTERACCIÓN DE LOS FACTORES DIETA Y MADURACIÓN DE LA CARNE

3.1. EN LAS COORDENADAS DE COLOR

El efecto de la dieta sobre la maduración de la carne resulta muy significativo para los parámetros de medida instrumental del color L*a*b* (Tabla 8). Estas diferencias se estudiarán con más detalle en la Tabla 9.

Tabla 8. Efecto de la dieta y la maduración en las coordenadas de color L*a*b*

	Dieta	Maduración	Dieta*maduración
L*	***	ns	***
a*	***	**	***
b*	**	ns	***

***: $p < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

En la tabla 9, se muestran las diferencias en las medidas de color para la carne obtenida de las dietas de alta y baja energía, en función del número de días de maduración.

Tabla 9. Media y error estándar de las coordenadas de color L*a*b* en función de la dieta y la maduración (A: alta energía; B: baja energía)

		24h			8d			14d			Sig
		Media	ES		Media	ES		Media	ES		
L*	A	33,12	0,83	a	28,88	1,52	ab	26,80	1,49	b	**
	B	31,81	0,77		34,26	1,02		34,09	0,72		ns
	Sig	ns			**			***			
a*	A	16,22	0,66	a	26,33	1,30	b	26,96	1,50	b	***
	B	18,35	0,57		18,11	0,82		19,32	0,37		ns
	Sig	*			***			***			
b*	A	5,93	0,46	a	11,58	0,42	b	10,18	0,71	b	***
	B	6,94	0,35		7,94	0,44		8,10	0,23		ns
	Sig	*			***			**			

***: $p < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

En la tabla 9, se pone de manifiesto la gran diferencia existente entre las dietas de alta y de baja energía. Aunque en los valores de la tabla 7, y en el estudio del *blooming*, no se encontraron diferencias significativas entre los animales de las dos dietas, es al estudiar su evolución posterior con la maduración, cuando se observan sus diferentes comportamientos.

El aporte energético es la diferencia principal entre las dos dietas. La dieta A contiene en total un 12% más de energía metabolizable (EM), procedente de un mayor porcentaje de maíz (50% vs 40% de la dieta B), componente energético que aporta hidratos de carbono en forma de almidón y grasa (2.900 kcal/kg de EM para rumiantes), (Tablas FEDNA, 2003). Además, la dieta A tiene un 4% de aceite de palma (0,6% en la dieta B), un lípido que aporta energía de fácil asimilación (6.240 kcal/kg de EM para rumiantes) y, además, contiene de 600 a 1000 ppm de vitamina E (Tablas FEDNA, 2003), que está asociada con la reducción de la oxidación de lípidos y con la mejora del color de la carne durante su almacenamiento (Chavarro, L.P., 2002). Estas dos diferencias pueden ser una causa de que los resultados en los parámetros de color de la carne sean tan diferentes según la dieta aportada al animal.

Estudiando los valores de la tabla 9 se observan diferencias significativas para todos los parámetros en la dieta A, siendo mayor la diferencia entre las muestras de maduración 8 y 14 días respecto de las muestras de 24 horas, de forma que con la maduración la carne presentó menor luminosidad ($<L^*$), mayor coordenada a^* (más roja) y mayor coordenada b^* (más amarilla).

Esto es debido a que durante la maduración de la carne se produce una reducción de la actividad respiratoria del músculo, disminuyendo progresivamente el consumo de O_2 hasta los 7-10 días *post-mortem*, lo que provoca una mayor penetración del mismo en la carne. Así, se produce una mayor oxigenación de la mioglobina, un mayor porcentaje de MbO_2 y menor de Mb que en la carne no madurada, (Feldhusen *et al.*, 1995). Por lo tanto, la carne madurada presenta una superficie más roja y brillante, con mayores valores de las coordenadas roja (a^*) y amarilla (b^*) que la no madurada. Para Hood y Riordan, (1973); Slepers *et al.*, (1983); Moore y Young, (1991) también se debe a una mayor penetración de la luz y un aumento de la reflectancia.

El aumento de los valores de a^* durante la maduración, puede estar relacionado con la pérdida de la actividad respiratoria de las mitocondrias, lo que hace que exista más oxígeno disponible en la superficie y por tanto permitiría una mayor formación de oximioglobina de color rojo vivo (O' Keefe y Hood, 1982; Franco *et al.*, 2008).

Así mismo, Beriain *et al.*, (2009), también encuentran un aumento significativo de las coordenadas a^* y b^* entre las 24h y los 14 días de maduración. Sin embargo, observan que la luminosidad no muestra efecto significativo con la maduración, y que esto puede deberse a que el tiempo de maduración no es lo suficientemente largo como para que los cambios en la estructura de la proteína causen una mayor dispersión de la luz.

Cabe señalar que en la dieta de baja energía, no se encontraron diferencias significativas de los parámetros de color $L^*a^*b^*$ entre los diferentes momentos de maduración de la carne.

Así mismo, y como se presenta en la tabla 9, para un mismo tiempo de maduración se obtienen mayores diferencias entre las dietas cuando la carne está madurada. Es decir, la carne de la dieta A y la carne de la dieta B presentan más diferencias con maduración 8 y 14 días que la carne de 24h. Después del sacrificio del animal, en la carne tienen lugar una serie

de fenómenos complejos que transforman el músculo y que se incrementan con el tiempo de maduración.

3.2. EN LOS PIGMENTOS DE LA CARNE

En la Tabla 10, se observa como el efecto de la dieta en los terneros, resulta muy significativo para los pigmentos metamioglobina y oximioglobina de la carne, pero no para la deoximioglobina. La maduración si que afecta de manera muy significativa en todos ellos. Por último, la interacción de la dieta sobre la maduración de la carne resulta significativa para los pigmentos: metamioglobina y oximioglobina, pero tampoco para la deoximioglobina. Presentadas estas interacciones, en la Tabla 11, se recogerán las diferencias con más detalle, fijando el factor dieta.

Tabla 10. Efecto de la dieta y la maduración en los pigmentos de la carne (Mb: Deoximioglobina; MbO₂: Oximioglobina; MMb: Metamioglobina)

	Dieta	Maduración	Dieta*Maduración
% Mb	ns	***	ns
% MMb	***	***	*
% MbO ₂	***	***	*

***: $p < 0,001$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

En la tabla 11, se muestran las diferencias en las medidas de los tres pigmentos responsables del color de la carne obtenida de las dietas de alta y baja energía, en función del número de días de maduración.

Tabla 11. Media y error estándar de los pigmentos de la carne en función de la dieta y la maduración (Mb: Deoximioglobina; MbO₂: Oximioglobina; MMb: Metamioglobina)

Dieta	Pigmentos	Maduración									Efecto Mad.
		24 h			8 d			14 d			
		Media	ES		Media	ES		Media	ES		
A	% Mb	60,83	5,30	a	91,32	3,69	b	93,46	3,10	b	***
	% MMb	22,89	2,15	b	3,20	1,36	a	6,97	2,28	a	***
	% MbO ₂	18,79	3,61	b	5,64	2,78	a	2,11	1,35	a	***
B	% Mb	66,51	5,56	ab	60,48	6,77	a	83,92	4,02	b	*
	% MMb	0,39	0,29		0,61	0,61		0,00	0,00		ns
	% MbO ₂	36,98	6,08	ab	49,56	6,65	b	28,70	4,65	a	*

***: $p < 0,001$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

En la tabla 11 se pone de nuevo de manifiesto la clara diferencia entre las dietas de alta y de baja energía. Mientras la carne de la dieta A resultó muy significativa en los pigmentos de color para los diferentes tiempos de maduración, la carne de la dieta B mostró menores variaciones.

Conforme aumenta la maduración, incrementa el porcentaje de deoximioglobina (Mb) y disminuyen los de metamioglobina (MMb) y oximioglobina (MbO₂). Además, el cambio más importante en los pigmentos se produce entre las 24h y los 8 días de maduración.

Aunque en ambas dietas se encontró el mismo comportamiento final para cada uno de los pigmentos, en la carne obtenida de la dieta B, se observó una evolución de los pigmentos contraria entre las 24h y los 8 días, es decir, un ligero incremento en MMb y MbO₂, con un descenso en Mb. Con maduración 14 días, estos valores aumentaron para la deoximioglobina, y disminuyeron para los otros dos pigmentos, aunque presentaron un porcentaje final más elevado de MbO₂ que las muestras de la dieta A.

Contrastando los resultados con Beriain *et al.*, (2009), se observa que el comportamiento de los pigmentos es diferente. En dicho estudio encontraron un descenso de deoximioglobina (Mb) y un aumento de oximioglobina (MbO₂) con la maduración de la carne. En contacto con el oxígeno, el porcentaje de Mb disminuye debido a la penetración de O₂ en la carne y a la oxigenación de ésta, pasando a MbO₂.

Lo mismo concluye Behrends, (2004), ya que encontró que el contenido de mioglobina desciende rápidamente a partir de los 3 días de almacenamiento, y Feldhusen *et al.*, (1995), que también afirman que en la carne madurada se produce una mayor oxigenación de la mioglobina, un mayor porcentaje de MbO₂ y menor de Mb.

El contraste con estos resultados es debido a las diferencias en la metodología llevada a cabo en ambos estudios para la medida de la evolución del color en la maduración. Tanto Beriain *et al.*, (2009), Behrends, (2004), como Feldhusen *et al.*, (1995), realizan la toma de datos sobre una misma superficie de carne, que conforme va madurando se encuentra en contacto con el oxígeno. Sin embargo, en el presente trabajo los valores de medida del color se obtienen con muestras de carne de diferente maduración, pero sobre el filete recién cortado. Por lo que es esperable el comportamiento que siguen los pigmentos de color, ya que la carne madurada pierde capacidad de oxigenarse, y es por esto, por lo que presenta un menor porcentaje de MbO₂ y va aumentando el de Mb. Valor que también se reflejaba en las coordenadas L*a*b* con el aumento de la coordenada a* (roja).

4. EFECTO DE LA VIDA ÚTIL Y DEL TRATAMIENTO DE LA CARNE

En este apartado se muestran los resultados obtenidos del estudio de la vida útil y de dos tratamientos diferentes en la carne, atmósfera modificada y film permeable al oxígeno, en los parámetros de medida instrumental del color L*a*b* y en los pigmentos de la carne.

4.1. EN LAS COORDENADAS DE COLOR

En la tabla 12 se muestran las significaciones para los efectos principales a estudiar en las dietas de alta y baja energía sobre los parámetros del color de la carne.

Tabla 12. Efectos principales de estudio en las coordenadas de color L*a*b* para cada una de las dietas (A: alta energía; B: baja energía; Md: Maduración; VU: Vida útil; Tto: Tratamiento)

Dieta		Md	VU	Tto	Md*VU	Md*Tto	VU*Tto	Md*VU*Tto
A	L*	**	ns	ns	ns	ns	**	ns
	a*	***	***	ns	ns	ns	**	ns
	b*	***	***	*	ns	ns	ns	ns
B	L*	**	**	***	ns	ns	**	ns
	a*	*	***	ns	ns	*	*	ns
	b*	**	***	ns	ns	ns	ns	ns

***: $p < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Tanto la maduración como la vida útil resultan muy significativas. No ocurre lo mismo con el tratamiento, en el que sólo se encuentran diferencias para el parámetro b* en la dieta de alta energía y en la luminosidad (L*) en la dieta de baja energía.

Sobre las interacciones, se observa que la maduración resulta independiente tanto de la vida útil como del tratamiento que se lleve a cabo. Pero sí se encuentra relación entre los efectos de vida útil y tratamiento, que se estudian con más detalle en la tabla 13.

Tampoco existe interacción entre los tres efectos.

En la tabla 13 se estudia el efecto de la vida útil y el tratamiento de la carne sobre las coordenadas de color L*a*b*.

Tabla 13. Media y error estándar de los parámetros de color L*a*b* durante la vida útil para la carne madurada 8 y 14 días. Efecto de los tratamientos. (A: alta energía; B: baja energía; ATM: Atmósfera modificada; VU: Vida útil; Tto: Tratamiento)

Maduración		8D											
Tratamiento		ATM					Film					Sig Tto 2d	Sig Tto 7d
Vida Útil		2d		7d		Sig VU	2d		7d		Sig VU		
Dieta		Media	ES	Media	ES			Media	ES	Media		ES	
A	L*	31,94	1,06	34,72	1,23	ns	33,18	1,18	32,85	1,24	ns	ns	ns
	a*	25,26	0,80	12,17	0,54	***	24,44	0,91	14,33	0,91	***	ns	*
	b*	16,45	0,78	13,22	0,68	**	16,05	0,99	12,41	0,64	**	ns	ns
B	L*	33,58	0,68	34,49	0,89	ns	32,09	0,98	26,79	1,01	**	ns	***
	a*	27,02	0,63	18,06	1,16	***	24,84	1,44	17,53	0,79	***	ns	ns
	b*	15,48	0,50	13,46	0,87	ns	14,99	0,96	11,10	0,81	**	ns	ns

Maduración		14D											
Tratamiento		ATM					Film					Sig Tto 2d	Sig Tto 7d
Vida Útil		2d		7d		Sig VU	2d		7d		Sig VU		
Dieta		Media	ES	Media	ES			Media	ES	Media		ES	
A	L*	34,34	0,83	37,29	1,41	ns	36,88	0,55	33,23	0,98	**	*	*
	a*	22,60	0,69	10,69	1,02	***	19,23	0,55	11,46	0,41	***	***	ns
	b*	14,55	0,77	10,92	0,21	***	12,66	0,83	9,77	0,39	**	ns	*
B	L*	31,57	0,64	30,49	1,10	ns	30,15	0,89	26,65	1,23	*	ns	*
	a*	25,89	0,94	13,07	0,79	***	25,01	0,62	17,57	1,11	***	ns	**
	b*	17,44	0,88	13,51	1,17	*	16,45	0,68	15,78	1,87	ns	ns	ns

***: $p < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Se observan diferencias significativas para la carne mantenida dos y siete días, respecto a los dos tipos de envases en los que se mantuvieron, atmósfera modificada y film permeable al oxígeno, así como para las dos dietas estudiadas, alta y baja energía.

El parámetro de color donde se encuentran las mayores diferencias es en la coordenada a* (roja), las cuales resultan siempre muy significativas ($P < 0,001$).

- **Vida útil:** Para la carne de maduración 8 días, se encuentran diferencias significativas en las coordenadas a* y b*, presentando un color más rojo y más amarillento en el caso de las muestras de vida útil 2 días. Es decir, durante la vida útil de la carne disminuyen las coordenadas a* y b*. Estos resultados coinciden con los presentados por Kim *et al.*, (2010), que estudiaron como la cantidad de rojo (a*) que presenta la carne de ternera envasada en ATM rica en O₂ es mayor respecto a la envasada a vacío y, además, su valor disminuye de uno a nueve días de vida útil. Estas diferencias se muestran en la carne de las dos dietas, aunque con mayor énfasis en la dieta de alta energía.

Así, tal y como citaron Calkins *et al.*, (1986); Renerre y Bonhomme, (1991) y Hernández, (1994), a medida que se va estropeando la carne, el valor de los

parámetros a^* y b^* disminuyen, siendo mayor la disminución de la coordenada roja (a^*), que coincide con la peor evaluación sensorial por parte del consumidor (Moore y Young, 1991). La luminosidad (L^*) permanece constante con el tiempo de exposición al oxígeno.

En las muestras de maduración 14 días se dan las mismas diferencias entre los días de vida útil. Comparando con los datos de la tabla 9, también se observa como tras un período de maduración más largo (14 días frente a 8 días) durante la vida útil se produce un deterioro más rápido de las coordenadas de color de la carne, es decir, un aumento más rápido en la L^* y una disminución más rápida de la coordenada roja a^* .

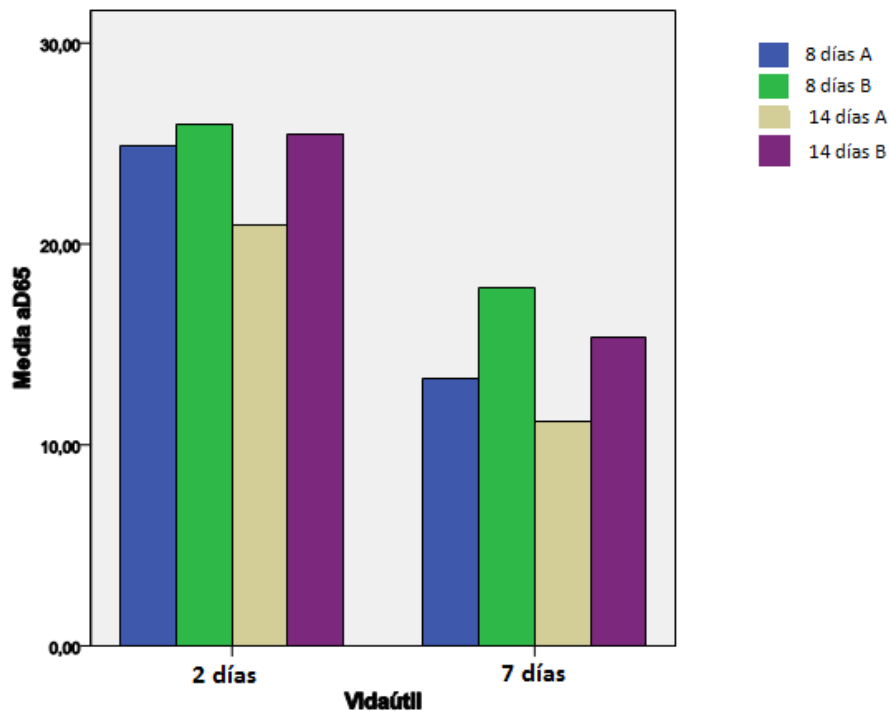


Figura 38. Evolución de la coordenada a^* de color durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B (A: Alta energía; B: Baja energía)

En la Figura 38 se muestra la síntesis de los resultados de la coordenada a^* de color obtenidos en la Tabla 13, para los efectos de: dieta, maduración y vida útil. Se observa como con la vida útil, la coordenada roja disminuye considerablemente en toda la carne. El descenso en los valores de a^* se debe a un aumento de la oxidación de la mioglobina (Hernández *et al.*, 1999), lo cual indica un descenso en la aceptabilidad del color (Moore y Young, 1991).

Así mismo, se obtienen valores más bajos para la carne proveniente de la dieta A. También, estudiando cada una de las dietas por separado, se observa que el parámetro a^* es más bajo en la carne madurada 14 días respecto a la carne de maduración 8 días. Esto significa, como ya se ha citado anteriormente, que con la maduración, la coordenada a^* desciende más rápido, lo que se acompaña de un mayor deterioro de la carne.

En la Figura 39 se observa el descenso de la coordenada b^* de la carne durante la vida útil, de los días 2 al 7, que también se acompaña del deterioro de la misma.

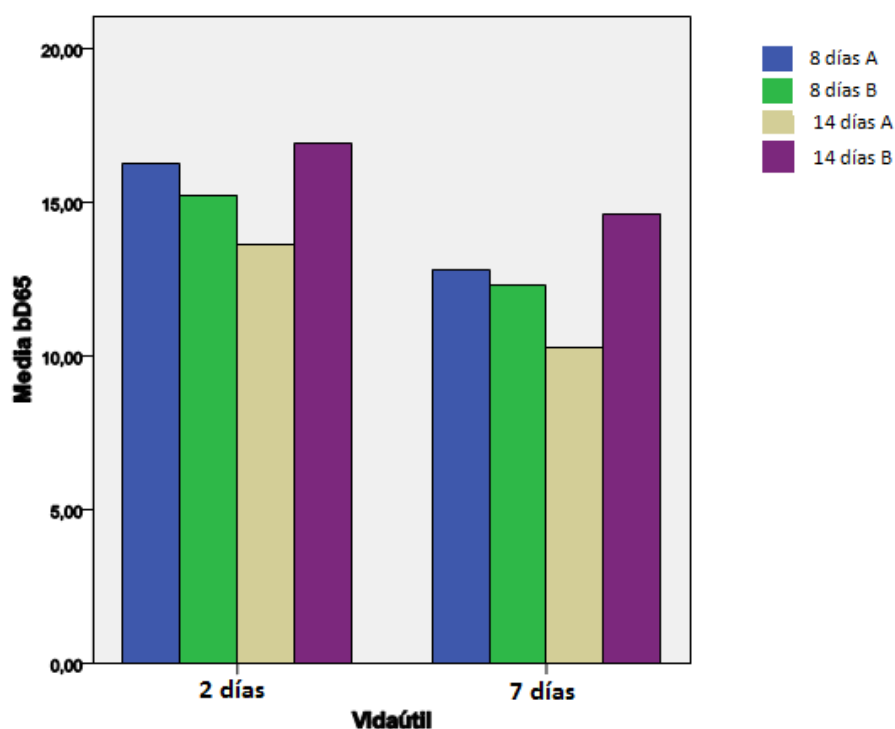


Figura 39. Evolución de la coordenada b^* de color durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B (A: Alta energía; B: Baja energía)

- **Tratamiento:** Para la carne de maduración 8 días, en general, no se encuentran diferencias significativas entre los dos tratamientos empleados para conservarla (film y ATM). Sin embargo, para las muestras de baja energía mantenidas siete días se observan diferencias en cuanto a la coordenada L^* , ya que la carne en ATM resulta más luminosa que los filetes conservados en bandeja con film.

Las muestras de maduración 14 días presentan algunas diferencias entre los dos tratamientos para la carne que proviene de la dieta A, ya que las muestras mantenidas en ATM presentan mayor coordenada a^* (roja) y b^* (amarilla). Esto es debido a que una atmósfera de conservación enriquecida en oxígeno implica un aumento del espesor de la capa de oximioglobina, enmascarando el color marrón de la metamioglobina subyacente, por lo que la carne conserva un color rojo vivo. Además, en presencia de concentraciones tan elevadas de oxígeno como es el caso (80% O_2), el porcentaje de metamioglobina formado es inferior al 40%, valor límite que provoca ese cambio de color en la carne, Bureau *et al.* (1995). Grobbel *et al.*, (2008), y John *et al.*, (2005), afirmaron como la carne envasada en una atmósfera con alto contenido en oxígeno, presenta menor estabilidad de color que la carne envasada a vacío, en ATM baja en O_2 y en sistemas con CO .

Respecto a la luminosidad, para vida útil 2 días se observa menor luminosidad en los envases de ATM, pero tras 7 días la menor luminosidad se da en los envases con film permeable al oxígeno.

Para la dieta B, no se encuentran diferencias significativas entre los envases para vida útil de 2 días, pero sí para 7 días, en cuanto a que la L* resulta menor en film, y la coordenada a* es considerablemente menor en los envases de atmósfera modificada.

Varios estudios han concluido que el sistema de ATM con alto contenido en oxígeno, crea un color rojo de la carne deseable inicialmente, pero que la tasa de decoloración es más rápida en comparación con las ATM de baja concentración de O₂ o sistemas de vacío, (Sorheim *et al.*, 1999, John *et al.*, 2005).

Así mismo, cabe citar que se esperaban encontrar mayores diferencias entre ambos tratamientos, debido al aspecto visual que mostraban las piezas de carne durante la realización del estudio en el laboratorio. La falta de diferencias significativas entre los dos tratamientos puede deberse a que en este estudio la ATM presentaba un alto contenido de oxígeno, por lo que las medidas de color reflejaban valores similares a los de las muestras mantenidas en el film permeable al O₂.

4.2. EN LOS PIGMENTOS DE LA CARNE

En la tabla 14 se muestran las significaciones para los efectos principales a estudiar en las dietas de alta y baja energía sobre los parámetros del color de la carne.

Tabla 14. Efectos principales de estudio en los pigmentos de color de la carne para cada una de las dietas (A: alta energía; B: baja energía; Md: Maduración; VU: Vida útil; Tto: Tratamiento; Mb: Deoximioglobina; MbO₂: Oximioglobina; MMb: Metamioglobina)

Dieta	Pigmentos	Md	VU	Tto	Md*VU	Md*Tto	VU*Tto	Md*VU*Tto
A	% Mb	***	*	ns	ns	ns	*	ns
	% MMb	***	***	ns	ns	***	ns	**
	% MbO ₂	**	***	ns	*	**	*	ns
B	% Mb	ns	***	***	ns	ns	**	ns
	% MMb	***	***	ns	***	ns	*	ns
	% MbO ₂	***	***	***	***	***	ns	***

***: $p < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Tal y como ocurría en la tabla 12 con las coordenadas de color L*a*b*, tanto la maduración como la vida útil resultan muy significativas. Sobre el tratamiento no se encuentran diferencias significativas para los tres pigmentos de la carne de dieta A, pero sí para deoximioglobina y oximioglobina en la carne proveniente de la dieta B.

Sobre las interacciones, se observa que las significaciones son muy distintas en cada pigmento de la carne y para cada pareja de efectos, pero sí presentan cierta interdependencia entre ellos, e incluso interacción entre los tres. Esto es debido a la cantidad de factores que van interviniendo en las distintas muestras de carne conforme avanzan los procesos de maduración y vida útil. No obstante, las diferencias entre todos los efectos se recogen con más detalle en la tabla 15.

Tabla 15. Media y error estándar de los pigmentos de la carne durante la vida útil para la carne madurada 8 y 14 días. Efecto de los tratamientos(A: alta energía; B: baja energía; ATM: Atmósfera modificada; VU: Vida útil; Tto: Tratamiento; Mb: Deoximioglobina; MbO₂: Oximioglobina; MMb: Metamioglobina)

Maduración		8D											
Tratamiento		ATM					Film					Sig Tto 2d	Sig Tto 7d
Vida Útil		2d		7d		Sig VU	2d		7d		Sig VU		
Dieta		Media	ES	Media	ES		Media	ES	Media	ES		Media	ES
A	% Mb	18,13	2,48	4,58	1,41	***	12,79	1,93	20,77	9,04	ns	ns	ns
	% MMb	24,86	2,73	82,88	4,16	***	22,11	3,16	64,04	4,26	***	ns	**
	% MbO ₂	57,27	4,02	17,05	4,06	***	67,21	3,70	23,95	3,33	***	ns	ns
B	% Mb	11,61	1,18	9,52	3,09	ns	14,71	1,24	50,35	9,33	**	ns	***
	% MMb	0,70	0,70	24,18	6,91	**	6,15	2,65	20,27	5,02	*	ns	ns
	% MbO ₂	98,39	0,80	70,21	6,41	***	87,80	3,51	32,91	5,33	***	**	***

Maduración		14D											
Tratamiento		ATM					Film					Sig Tto 2d	Sig Tto 7d
Vida Útil		2d		7d		Sig VU	2d		7d		Sig VU		
Dieta		Media	ES	Media	ES		Media	ES	Media	ES		Media	ES
A	% Mb	15,79	1,17	0,63	0,63	***	8,39	1,17	0,82	0,53	***	***	ns
	% MMb	23,12	1,53	64,90	5,58	***	28,21	1,27	79,93	3,47	***	*	*
	% MbO ₂	61,09	1,79	40,93	6,25	**	63,40	1,21	22,89	3,32	***	ns	*
B	% Mb	16,25	2,29	23,65	8,51	ns	16,26	2,42	36,55	8,84	*	ns	ns
	% MMb	0,04	0,04	89,09	4,11	***	4,24	3,34	77,20	6,06	***	ns	ns
	% MbO ₂	97,15	1,18	11,10	2,93	***	86,03	3,67	20,80	5,19	***	**	ns

***: $p < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $0,01 < p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Se observan diferencias significativas para la carne mantenida dos y siete días, respecto a los dos tipos de envases en los que se mantuvieron, atmósfera modificada y film permeable al oxígeno, así como para las dos dietas estudiadas, alta y baja energía.

- **Vida útil:** tanto en la carne de maduración 8 días, como en la de 14 días, se encuentran diferencias significativas en la evolución de todos los pigmentos de color de la carne, con mayor énfasis en la metamioglobina y oximioglobina. Conforme avanza el período de vida útil, se observa un claro aumento del porcentaje de metamioglobina, acompañado de la consiguiente disminución de los otros dos pigmentos. Ésa desaparición de la mioglobina es fruto de su oxidación. Se debe a que durante el almacenamiento, se encuentra en contacto con el oxígeno, que da origen a la metamioglobina, responsable del color rojo pardo de la carne. El aumento en este pigmento se observa claramente en la Figura 40.

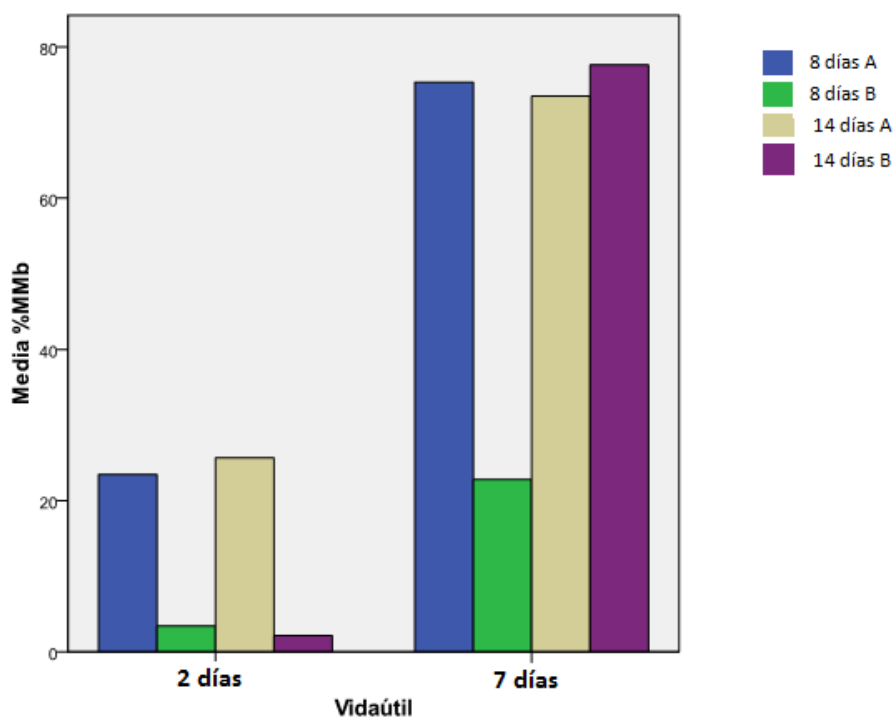


Figura 40. Evolución del porcentaje de MMb durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B (A: Alta energía; B: Baja energía)

En la figura 41 se muestra el descenso de la oximioglobina que tiene lugar en las muestras de carne durante el estudio de vida útil de 2 a 7 días.

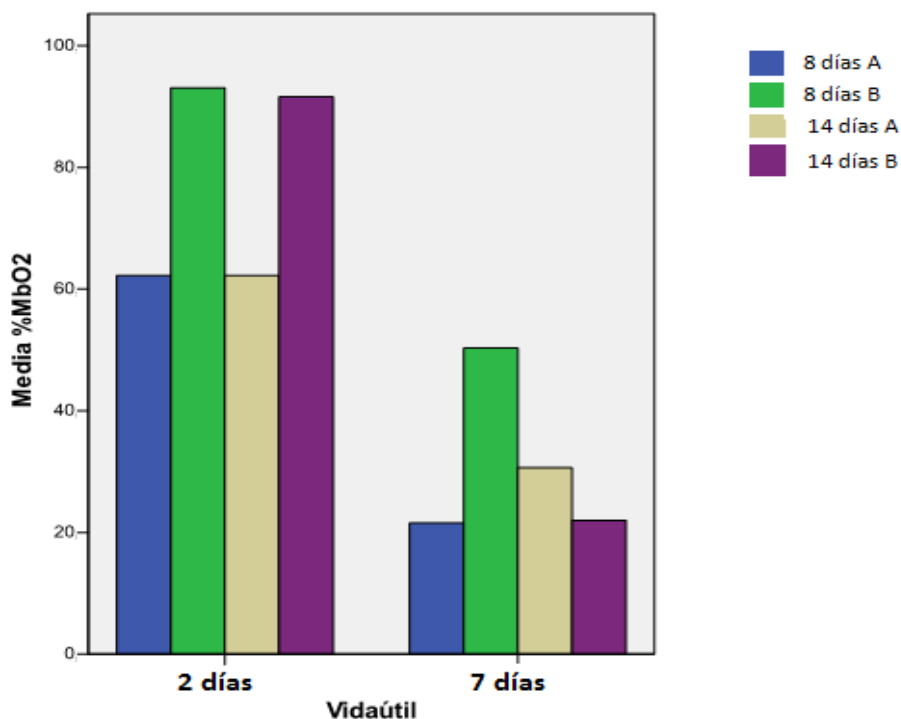


Figura 41. Evolución del porcentaje de MbO2 durante la vida útil de la carne en las muestras de 8 y 14 días de maduración para las dietas A y B (A: Alta energía; B: Baja energía)

Estos resultados son coincidentes con lo citado por Eagerman *et al.*, (1977), que afirmaron que la mioglobina en la carne, aparece principalmente como oximioglobina, y, conforme pasa el tiempo va aumentando el porcentaje relativo de metamioglobina en la superficie de la misma, lo que produce su decoloración.

- **Tratamiento:** según los resultados obtenidos, no se encuentran diferencias claras entre los dos tratamientos utilizados para la vida útil de la carne. No obstante, en las muestras envasadas en ATM se produjo una mayor oxidación. Esto se observa para la carne de la dieta A, que, a los 7 días, presentó un mayor porcentaje de metamioglobina que en el film (82,88 vs 64,04), y menor de deoximioglobina (4,58 vs 20,77), (Tabla 15), lo que significa una mayor oxidación. Esto puede ser debido al gran contenido en O₂ que tuvieron los envases de ATM, en los que finalmente, pudo ocurrir una mayor oxidación de los pigmentos de la carne.

Por último, en la figura 42 se muestran los primeros resultados obtenidos del análisis de TBA. En los filetes de carne de maduración 8 días se observó un incremento de 0,7 a 2,5 mg de malonaldehído/kg de carne en las muestras de ATM entre los 2 y los 7 días, respecto a un incremento más moderado de 0,4 a 1,4 mg de malonaldehído/kg de carne en las muestras de film permeable al oxígeno.

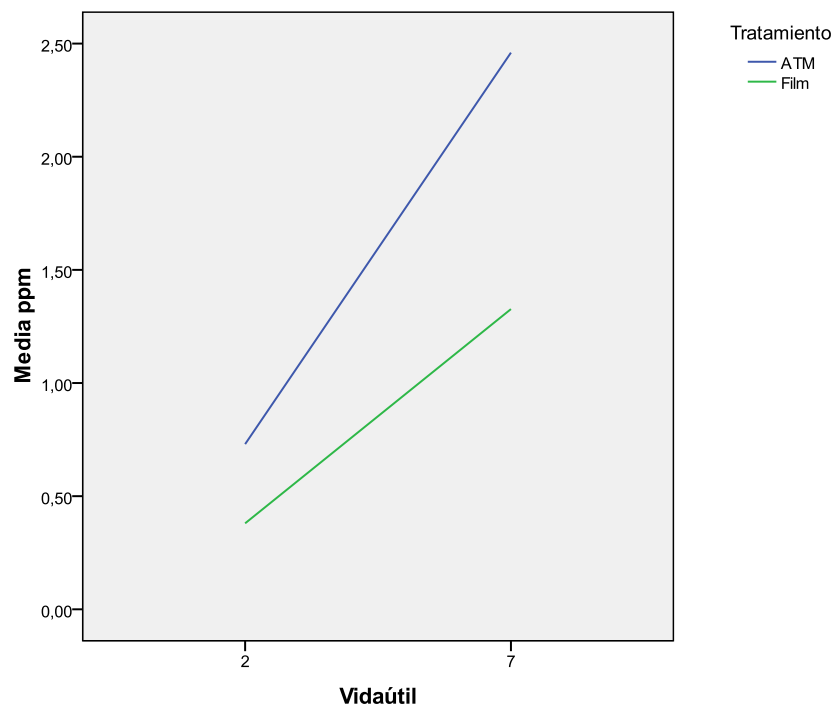


Figura 42. Resultado de un primer análisis de TBA para carne madurada 8 días en ATM y en film permeable al oxígeno

En un estudio realizado por Kim *et al.*, (2010), los filetes envasados en ATM de alto contenido en O₂ también mostraron un aumento muy significativo de la oxidación lipídica medida con el análisis de TBA (0,14-0,9 mg malonaldehído/kg de carne entre el día 1 y 9, respectivamente). Esto es debido a la formación de metamioglobina en los envases de ATM, ya que la oxidación lipídica es un promotor de la oxidación de la mioglobina, John *et al.*, (2005).

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con el material y métodos empleados y a partir de los resultados obtenidos, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. La alimentación de los terneros de las dos dietas de diferente nivel energético muestra un efecto significativo sobre las propiedades del color de la carne.
2. En el tiempo de *blooming*, la coordenada de luminosidad (L^*) sufre menos variación que las coordenadas a^* y b^* . Así mismo, los valores de L^* se estabilizan para un tiempo próximo a 60 min, mientras que para las coordenadas a^* y b^* , se estabilizan aproximadamente a 90 minutos. Por lo que éstos serán los momentos a partir de los cuales se obtendrán valores de $L^*a^*b^*$ característicos del color de la carne.
3. En el *blooming* con la carne madurada 8 días, los valores de $L^*a^*b^*$ muestran un intervalo más amplio de variación respecto al *blooming* realizado a las 24h.
4. La dieta empleada en la alimentación de los terneros, afecta significativamente a la maduración de la carne. Con el tiempo de maduración, la carne de los terneros alimentados con la dieta de alta energía, presenta menor luminosidad ($<L^*$), mayor coordenada a^* (más roja) y mayor coordenada b^* (más amarilla) que en el caso de la dieta de baja energía. En ambas dietas se incrementa el porcentaje de deoximioglobina (Mb) y disminuyen los de metamioglobina (MMb) y oximioglobina (MbO_2). Tanto en las coordenadas $L^*a^*b^*$ como en los pigmentos, se observa que las mayores diferencias se dan en el período de 24h a 8 días, y que la carne madurada pierde capacidad de oxigenarse.
5. Durante la vida útil de la carne disminuyen las coordenadas a^* y b^* y se observa un claro aumento del porcentaje de metamioglobina, acompañado de la consiguiente disminución de los otros dos pigmentos. El descenso en los valores de a^* y la desaparición de la mioglobina se debe a la oxidación, lo que causa un descenso en la aceptabilidad del color. Además, tras un período de maduración más largo (14 días frente a 8 días) se produce un deterioro más rápido reflejado tanto en las coordenadas de color, como en los pigmentos de la carne.
6. No se encuentran diferencias claras entre los dos tratamientos utilizados para la vida útil de la carne. No obstante, en las muestras envasadas en atmósfera modificada se produjo una mayor oxidación, debida a la mayor concentración de oxígeno presente en los envases.

CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Alberle, E.D., Forrest, J.C., Gerrard, D.E., Mills, E.W., Hedrick, H.B., Judge, M.D., Merkel, R.A., 2001. Principles of meat science. 4ª edición. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.
- Alberti, P., Panea, B., Ripoll, G., Sañudo, C., Olleta, J.L., Hegueruela, I., Campo, M.M., Serra, X., 2005. Medición del color. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA: Serie Ganadería Nº 3. Págs. 216-225.
- Alfonso, L., 2009. Apuntes de Sistemas de Producción Animal, 5º Ingeniero Agrónomo. Universidad Pública de Navarra.
- Andersen, H.J., Bertelsen, G., y Skibsted, L.H., 1989. Colour stability of minced beef. Ultraviolet barrier in packaging material reduces light-induced discoloration of frozen products during display. Meat Science nº25, pág.155.
- Aspé, E.R., Roeckel, M.D., Martí, C., Jiménez, R., 2008. Envasado de carne de vacuno con hueso y grasa en atmósfera modificada con CO₂ y CO. Información Tecnológica Vol.19, nº 6, págs. 57-69.
- Atkinson, J.L. y Follet, M.J., 1973. Biochemical studies on the discoloration of fresh meat, Journal of Food Technology 8, págs.51-58.
- Bekele, S., Williams A.C., 1992. Vacuum skin packages with reduced product discoloration and method of making. US Patent 1992; 5 087 46.
- Berge, P., Culioli, J., Renerre, M., Touraille, C., Micol, D., y Geay, Y., 1993. Effect of feed protein on carcass composition and meat quality in steers. Meat Science, nº35, págs. 35-79.
- Beriain, M.J., 1998. Marcas de calidad de carne de vacuno en Europa. Mundo Ganadero, nº 103, págs. 32-39. Ed.: Mundi Prensa. Madrid, España.
- Beriain, M.J., Goñi, M.V., Indurain, G., Sarriés, M.V., Insausti, K., 2009. Predicting Longissimus dorsi myoglobin oxidation in aged beef based on early post-mortem colour measurements on the carcass as a color stability index. Meat Science, nº 81, págs. 439-445.
- Boakye, K., y Mittal, G.S., 1996. Changes in colour of beef M. *Longissimus dorsi* muscle during ageing. Meat Science nº42, pág. 347.
- Boccard, R., y Bordes, P., 1986. Caracteristiques qualitatives et technologiques des viandes bovines: Influence des facteurs de production. Production des viandes bovines, pág.61. INRA (Ed.) Paris, Francia.
- Briskey, E.J., 1964. Etiological status and associates studies of pale, soft, exudative porcine musculature. Adv. Food Research nº13, 89.

- Brewer, M.S., Zhu, L.G., Bidner, B., Meisinger, D.J., McKeith, F.K., 2001. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Science* Vol. 57, págs. 169-176.
- Brody, A.L., 1989. *Modified atmosphere packaging of meat*. Food and Nutrition Press, Inc. págs. 149-158.
- Bureau, G., Multon, J.L., Calvo, M. y Sevillano, E., 1995. *Embalaje de los alimentos de gran consumo*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Cañeque, V., Sañudo, C., 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. *Monografías INIA: Serie Ganadería Nº 3*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. ISBN: 84-7498-509-9, Madrid.
- Carlez, A., Veciana-Nogués, M.T., Cheftel, J.C., 1995. Changes in colour and myoglobin of minced meat due to high pressure processing. *Lebensm.-Wiss. Technology* Vol. 28, págs. 528-538.
- CE, 1995. European Directive 95/2/CE relative to food additives other than colors and sweeteners. *Official Journal L61*, págs. 1-40.
- Cerdeño, A.I., Ruiz, A., 2003. Efecto de la alimentación durante la lactancia y el acabado de terneros. *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, nº 66, págs. 44-46.
- Chan, W.K.M., Hakkarainen, K., Faustman, C., Schaefer, D.M., Scheller, K.K., y Liu, Q., 1996. Dietary vitamin E effect on color stability and sensory assessment of spoilage in three beef muscles. *Meat Science*, nº42, pág.387.
- Chang, L., 2003. *Materiales de envase y sistemas de envasado para carne y productos cárnicos*. *Alimentaria* nº 348, 57-62.
- Chavarro, L.P., 2002. *Uso de los subproductos de aceite de palma en alimentación animal*. Tesis Doctoral Facultad de Veterinaria Casanare, México.
- Cheah, P.B., Ledward, D.A., 1996. High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Science* Vol. 43, págs. 123-134.
- CIE 1976. *Recommendations on uniform colour spaces-colour difference equations. Psychometric Colour Terms. Supplement Nº 2 to CIE Publication Nº 15 (E-1.3.1.) 1978, 1971/(TC-1-3)*, Commission Internationale de l'Éclairage, Paris.
- Cridge, A.G., Bickerstaffe, R., Cowley, R, y Savage, G.P., 1994. Postmortem factors influencing the quality of beef. *Proc. Nutrition Society of New Zealand*, nº19, 93.
- Demos, B.P., y Mandingo, R.W., 1995. Composition and chemistry of mechanically recovered beef neck-bone lean. *Journal of Food Science*, nº60, págs. 576-579.
- Denoyelle, C., Berny, F., 1999. Objective measurement of veal color for classification purposes. *Meat Science* Vol. 53, págs. 203-209.

- Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 1999. Convenio Europeo sobre la protección de los animales vertebrados utilizados para experimentación y otros fines científicos. Diario Oficial Serie L 222/29 del 24/08/1999.
- Eagerman, B.A., Clydesdale F.M. y Francis F.J., 1977. Determination of fresh meat color by objective methods. *Journal Food Science*, nº 42, págs. 707-710.
- Echevarne, D., Renerre, M. y Labas, R., 1990. Metmyoglobin reductase activity in bovine muscles. *Meat Science*, nº 27, págs. 161-172.
- Eikelenboom, G. y Smulders, F.J.M., 1986. Effect of electrical stimulation on veal quality. *Meat Science*, nº 16, págs. 103-112.
- Faustman, C. y Cassens, R.G., 1990. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *Journal of Muscle Food*, nº 1, págs. 217-243.
- Faustman, C., Chan, W.K., Schaefer, D.M. y Havens, A., 1998. Beef color update: the role for vitamin E. *Journal of Animal Science*, nº76, págs. 1019-1026.
- FEDNA, 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos (2ª ed.). C. de Blas, G.G. Mateos y P.Gª. Rebollar (eds.). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España.
- Feldhusen, F., Warnatz, A., Erdmann, R. y Wenzel, S., 1995. Influence of storage time on parameters of color stability of beef. *Meat Science*, nº 40, págs. 235-243.
- Forrest, J.C., Aberle, E.D., Hedrick, H.B., Judge, M.D. y Merkel, R.A., 1979. Fundamentos de ciencia de la carne. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Franco, D., Bispo, E., González, L., Vázquez, J.A., Moreno, T., 2009. Effect of finishing and ageing time on quality attributes of loin from the meat of Holstein–Friesian cull cows. *Meat Science*, nº 83, págs. 484-491.
- Franke, W.C., y Solberg, M., 1971. Quantitative determination of metamyoglobin and total pigment in an intact meat sample using reflectance spectrophotometry. *Journal of Food Science*, nº36, pág. 515.
- FSIS/USDA, 2000. 9 CFR Part 424: Food additives for use in meat and poultry products: sodium diacetate, sodium acetate, sodium lactate and potassium lactate. *Federal Register* 65, 3121-3123.
- Gatellier, P., Anton, M., y Renerre, M., 1995. Lipid peroxidation induced by H₂O₂-activated metmyoglobin and detection of a myoglobin-derived redical. *Journal.Agric.Food Chem.*, nº43, pág.651.
- Gidding, G.G., 1977. The basis of color in muscle foods. *Journal of Food Science* nº42, pág. 288.
- Gill, C.O., 1995. Discolouration of beef at low oxygen concentrations. *Meat Focus International*, Junio, pág.226.

- Gonvidarajan, S., Hultin, H.O., y Kotula, A.W., 1977. Myoglobin oxidation in ground beef: mechanistic studies. *Journal of Food Science*, nº42, pág.571.
- Goñi, M.V., Beriain, M.J., Indurain, G., Insausti, K., 2007. Predicting longissimus dorsi texture characteristics in beef based on early post-mortem colour measurements. *Meat Science* Vol. 76 nº 1, págs. 38-45.
- Greene, B.E., Hsin, I.M., y Zipser, M.W., 1971. Retardation of oxidative color changes in raw ground beef. *Journal of Food Science*, nº36, págs. 940-942.
- Grobbel, J.P., Dikeman, M.E., Hunt, M.C., y Milliken, G.A., 2008. Effects of different packaging atmospheres and injection-enhancement on beef tenderness, sensory attributes, desmin degradation, and display color. *Journal of Animal Science*, 86(10), págs.2697–2710.
- Guingnot, F., Touraille, C., Ouali, A., Renner, M. Y Monin, G., 1994. Relationships between post-mortem pH changes and some traits of sensory quality in veal. *Meat Science*, nº 37, págs. 315-325.
- Han, J.H., 2000. Antimicrobial food packaging. *Food Technology*, nº 54, págs. 56-65.
- Hass, M.H., y Bratzler, L.J., 1965. Determination of myoglobin oxygenation rates in pork, beef and lamb by Munsell and reflectance colorimetry. *Journal of Food Science*, Vol.30 págs. 64-68.
- Hennet, M.V., 2007. Aspectos importantes en la conservación y empaques para carnes frescas. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Univ. De Córdoba. Junio 2007, Maracaibo, Venezuela.
- Hernández, B., 1994. Estudio del color en carnes: caracterización y control de calidad. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza, España.
- Hood, D.E. y Riordan, E.B., 1973. Discolouration in pre-packaged beef: measurement by reflectance spectrophotometry and shopper discrimination. *Journal of Food Technology*, nº8, págs. 333-334.
- 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*, Vol.7, págs. 534–540.
- Hugas, M., Garriga, M., Aymerich, M.T., Monfort, J.M., 2002. Bacterial cultures and metabolites for the enhancement of safety and quality in meat products. En Toldrà, F. (Ed.), *Research advances in the quality of Meat Products*. Research Signpost, Trivandrium, Kerala, India. Págs. 225-247.
- Hunt, M. C., Acton, J. C., Benedict, R. C., Calkins, C. R., Cornforth, D. P., Jeremiah, L. E., Olson, D. G., Salen, C. P., Savell, J. W. & Shivas, S. D., 1991. Guidelines for meat color evaluation. *Proceedings of the 44th Reciprocating Meat Conference of the American Meat Science Association*. Chicago, USA. págs. 3-14.
- Insausti, K., Beriain, M.J., Purroy, A., Alberti, P., Lizaso, L., Hernández, B., 1999. Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. *Meat Science* nº 53, págs. 241-249.

- International Commission on Microbiological Specifications for Food (ICMSF), 1985. Ecología Microbiana de los Alimentos, Vol.1 (Factores que afectan a la supervivencia de los microorganismos) y Vol.2 (Productos alimentarios). Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 1442 1973. Determination of moisture. International Standards Meat and Meat Products. International Organisation for Standardisation, Geneva.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 1443 1973. Determination of total fat composition. International Standards Meat and Meat Products. International Organisation for Standardisation, Geneva.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO R2917 1974. Measurement of pH (Reference Method). International Standards Meat and Meat Products. International Organisation for Standardisation, Geneva.
- Jayasingh, P., Cornforth, D.P., Carpenter, C.E. y Whittier D., 2001. Evaluation of carbon monoxide treatment in modified atmosphere packaging or vacuum packaging to increase color stability of fresh beef, *Meat Science* nº59, págs. 317-324.
- Jeremiah, L.E., 2001. Packaging alternatives to deliver fresh meats using short- or long-term distribution. *Food Research International*, Vol.34 (9), págs.749-772.
- John, L., Cornforth, D., Carpenter, C.E., Sorheim, O., Pettee, B.C., y Whittier, D.R., 2005. Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum. *Meat Science*, 69(3), págs.441-449.
- Khlijji, S., Van de Ven, R., Lamb, T.A., Lanza, M., Hopkins, D.L., 2010. Relationship between consumer ranking of lamb color and objective measures of color. *Meat Science* Vol.85, págs. 224-229.
- Kim, Y.H., Huff-Lonergan, E., Sebranek, J.G., y Lonergan, S.M., 2010. High-oxygen modified atmosphere packaging system induces lipid and myoglobin oxidation and protein polymerization. *Meat Science*, nº85, págs.759-767.
- Konika Minolta, 2003. Precise colour communication. www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/. Visitada en febrero 2010.
- Lagoda, H.L., Wilson, L.L., Henning, W.R., Flowers, S.L., Mills, E.W., 2002. Subjective and objective evaluation of veal lean color. *Journal of Animal Science*, nº 80, págs. 1911-1916.
- Lanari, M.C., y Cassens, R.G., 1991. Mitochondrial activity and beef muscle color stability. *Journal of Food Science*, nº 56, págs. 1476-1479.
- Lawrie, R.A., 1977. *Ciencia de la carne*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Lawrie, R.A., 1985. *Meat Science*, 4ª edición. Pergamon Press, pág. 44. Oxford, Reino Unido.
- Lawrie, R.A., 1991. *Meat Science*, 5ª edición. Pergamon Press. Oxford, Reino Unido.

- Ledward, D.A, Smith, C.G., Clarke, H.M., y Nicholson, M., 1977. Relative role of catalysts and reductants in the formation of metmyoglobin in aerobically stored beef. *Meat Science*, Volume 1, nº2, págs.149-156.
- Ledward, D.A., 1985. Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. *Meat Science*, nº15, págs. 149-171.
- Ledward, D.A., 1991. Meat colour stability. *Journal of Food Science*, nº56, vii.
- Lee, B.H., Simard, R.E., Laleye, C.L., Holley, R.A., 1984. Shelf-life of meat loaves packaged in vacuum or nitrogen gas. II Effect of storage temperature, light and time on physicochemical and sensory changes. I *Food Protect*, nº47, págs. 134-139.
- Lindahl, G., Lagerstedt, A., Ertbjerg, P., Sampels, S., Lundström, K., 2010. Ageing of large cuts of beef loin in vacuum or high oxygen modified atmosphere- Effect on shear force, calpain activity, desmin degradation and protein oxidation. *Meat Science*, nº 85, págs. 160-166.
- Liu, Q., Scheller, K.K., Arp, S.C., Schaefer, D.M., y Williams, S.N., 1996. Tritation of fresh meat color stability and malondialdehyde development with Holstein steers fed vitamin E-supplemented diets. *Journal of Animal Science*, nº74, pág.117.
- Livingston, D.J., Brown, W.D., 1981. The chemistry of myoglobin and its reactions (Meat pigments, food quality indices). *Food Technology*, Vol.35, nº5, págs. 238-252.
- Longinos, S., Mendoza, M.R., Quezada, J.A., Pedroza, R., 2005. Películas antimicrobianas para carne y productos cárnicos. *Mundo lácteo y cárnico*, Mayo-Junio 2005, págs. 12-17.
- Madhavi, D.L. y Carpenter, C.E., 1993. Aging and processing affect color, metmyoglobin reductase and oxygen consumption of beef muscles. *Journal of Food Science*, nº 58, págs. 939-942.
- MacDougall, D.B y Rodhes, D.N., 1972. Characteristics of the appearance of meat. III Studies on the colour of meat from young bulls. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, nº23, págs. 637-647.
- MacDougall, D.B., 1982. Changes on the colour and opacity of meat. *Food Chemistry*, Vol. 9, págs. 75-88.
- MacDougall, D.B., 1994. Colour of meat. In quality attributes and their measurements in meat, poultry and fish products. *Advances in meat research*, Vol.9. Pearson, A.M., y Dutson, T.R. Ed. Chapman and Hall, págs. 79. Glasgow, Reino Unido.
- Mancini, R.A., Hunt, M.C., Kropf, D.H., 2003. Reflectance at 610 nanometers estimates oxymyoglobin content on the surface of ground beef. *Meat Science* nº 64, págs. 157-162.
- Mancini, R.A., Hunt, M.C., Hachmeister, K.A., Kropf, D.H., Johnson, D.E., 2005a. Exclusion of oxygen from modified atmosphere packages limits beef rib and lumbar vertebrae marrow discoloration during display and storage. *Meat Science* Vol. 69, págs. 493-500.

- Mancini, R.A., Hunt, M.C., 2005b. Current research in meat color. *Meat Science* nº 71, págs. 100-121.
- Marcos, B., Aymerich, T., Garriga, M., Monfort, J.M., 2006. Envasado activo biodegradable para el control de *Listeria monocytogenes* en jamón cocido. *Eurocarne* nº 145, págs. 1-5.
- Marcos, B., 2007. Mejora de la seguridad alimentaria en productos cárnicos listos para el consumo mediante la aplicación combinada de tecnologías de conservación emergentes. Tesis Doctoral, Universidad de Girona. ISBN: 978-84-690-8261-4.
- Martínez, L.A., 2005. Utilización de métodos combinados para prolongar la vida útil de productos cárnicos frescos. Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.
- Masana, M., Meichtri, L., y Rodríguez, R., 2006. Determinación de la vida útil en cortes de bovinos. Mayor Calidad por más tiempo. Instituto Tecnológico de alimentos. INTA, Cautelar. www.inta.gov.ar/ediciones/idia/carne/carnef03.pdf. Visitada en abril 2010.
- Millar, S.J., Moss, B.W. y Stevenson, M.H., 1996. Some observations on the absorption spectra of various myoglobin derivatives found in meat. *Meat Science*, nº42, págs. 277-288.
- Milteburg, G.A.J., Wensing, Th., Smulders, F.J.M. y Breukink, H.J., 1992. Relationship between blood hemoglobin, plasma and tissue iron, muscle heme pigment and carcass colour of veal. *Journal of Animal Science*, nº 70, págs. 2766-2772.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008. Anuario de Estadística. http://www.mapa.es/estadistica/pags/anuario/2008/Anuario_2008.pdf. Visitada en Mayo 2010.
- Ministerio de Sanidad y Consumo, 2002. Real Decreto 142/2002, del 1 de febrero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. BOE 44: 6756-6799.
- Moore, V.J. y Young, O.A., 1991. The effects of electrical stimulation, twawing, ageing and packaging on the colour and display life of lamb chops. *Meat Science*, nº 30, págs. 131-145.
- Nottingham, P.M., 1982. Microbiology of carcass meats. *Meat Microbiology*, págs.13-65. Ed. M. H. Brown. Applied Science Publishers Ltd. London y Nueva York.
- O'Keefe, M., y Hood, D.E., 1982. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation on beef from muscles of differing colour stability. *Meat Science*, nº 7, págs. 209-228.
- Olleta, J.L., Albertí, P., Campo, M.M., Panea, B., Sañudo, C., 1998. Calidad instrumental de la carne de bovino de siete razas españolas. *Archivos de zootecnia*, ISSN 0004-0592, Vol. 47, Nº 178-179, págs. 397-402.
- Ordóñez, J., Zurera, G., Bosch, A., Otero, A., Guamis, B., 2004. Opinión del comité científico de la AESA sobre una cuestión presentada por la Dirección Ejecutiva, en relación con la aplicación de altas presiones en carne y productos cárnicos. Agencia Española de Seguridad Alimentaria.

- Owens, F.N., Gardner, B.A., 1999. A review of the impact of feedlot management and nutrition on carcass measurements of feedlot cattle. Annual Meeting of American Society of Animal Science, Indianapolis.
- Pérez, D., Andújar, G., 2008. Cambios de coloración de los productos cárnicos. Mundo Lácteo y Cárnico, nº Enero-Feb. 2008, págs. 7-13.
- Pierson, M.D., Collins-Thompson, D.L., y Ordal, Z.L., 1970. Microbiological, sensory and pigment changes of aerobically and anaerobically packaged beef. Food Tech. nº24, pág.1171.
- Quintavalla, S., Vincini, L., 2002. Antimicrobial food packaging in meat industry. Meat Science nº 62, págs. 373-380.
- Raines, C.R., Hunt, M.C., Unruh, J.A., 2009. Cow biological type affects ground beef colour stability. Meat Science, nº 83, págs. 752-758.
- Raines, C.R., Hunt, M.C., Unruh, J.A., 2010. Contributions of muscles of various color stabilities to the overall color stability of ground beef. Journal of Food Science, Vol. 75 nº 1, págs. 85-89.
- Ramsbottom, J.M., 1976. Envasado. Ciencia de la carne. Págs.. 523-548. Ed. JF Price, Acribia. Zaragoza, España.
- Reddy, S.G., Henrickson, R.L., y Olson, H.C., 1970. The influence of lactic cultures on ground beef quality. Journal of Food Science, nº35, pág.787.
- Renere, M., y Valin, C., 1979. Influence de l'âge sur les caractéristiques de la couleur des viandes bovines de la race Limousine. Annales de Technologie Agricole, págs. 319-332.
- Renere, M., 1981. La couleur de la viande et sa mesure. Viandes et Produits Carnés, Vol. 2, págs. 10-16.
- Renere, M., 1982. Effects of age and slaughter weight on the colour of beef (Friesian and Charolais breeds). Sciences des Aliments, nº 2, 17.
- Renere, M., y Mazuel, J.P., 1985. Relations entre méthodes de mesures instrumentales et sensorielles de la couleur de la viande. Science des Aliments nº5, pág. 541.
- Renere, M. y Labas, R., 1987. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. Meat Science, nº 19, págs. 151-165.
- Renere, M., 1990. Review: Factors involved in the discolouration of beef meat. International Journal of Food Science Tech. Nº25, pág.613.
- Renere, M. y Bonhomme, J., 1991. Effects of electrical stimulation, boning-temperature and conditioning mode on display colour of beef meat. Meat Science, nº 29, págs. 191-202.
- Renere, M., Dumont, F. y Gatellier, Ph., 1996. Antioxidant enzyme activities in beef in relation to oxidation of lipid and myoglobin. Meat Science, nº 43, págs. 111-121.

- Robach, D.L., y Costillow, R.N., 1961. Role of bacteria in the oxidation of myoglobin. *Applied Microbiology*, nº9, pág.529.
- Rocha, A.E., 2008. El uso de antioxidantes para conservar el color de la carne fresca. <http://www.agromeat.com/index.php?idNews=80745>. Visitada en marzo 2010.
- Rodríguez, J.J., 2005. El uso de lactatos en el control de productos cárnicos. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridadalimentaria/cienciaytecnologia/2005/09/07/19918.php> Visitada en marzo 2010.
- Ronda, F., Caballero, P.A., Oliete, B., Pando, V., Manzanal, S., 2006. Textura y color de la carne de vacuno en función de la raza y del sexo. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos* nº 378, págs. 124-133.
- Santoyo, S., 2008. Apuntes de la asignatura de Bioquímica de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Madrid.
- Santrich, D., 2006. Evaluación de la calidad y composición química de la carne de res proveniente de animales de dos grupos de edad en Puerto Rico. Tesis Doctoral, Universidad de Puerto Rico.
- Sañudo, C., Alberti, 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*, nº 48, págs. 397-402.
- SCF, Scientific Committee on Food, 2001. Opinion of the scientific committee on food on the use of carbon monoxide as component of packaging gases in modified atmosphere packaging for fresh meat, European Commission (adopted on 13 december 2001), Health and Consumer Protection Directorate General, <http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out112>. Visitada en marzo 2010.
- Sebraneck, J., 2008. Mezclas de gases para extender la vida de anaquel. <http://www.carnetec.com/MembersOnly/technology/details.aspx?item=1649>. Visitada en marzo 2010.
- Sebraneck, J., 2009. Evaluación de alternativas de envase para maximizar la estabilidad de color. <http://www.carnetec.com/MembersOnly/technology/details.aspx?item=10619&pf=tr ue>. Visitada en marzo 2010.
- Sebraneck, J., 2009. Ingredientes que ayudan a conservar el color de la carne fresca. <http://www.carnetec.com/MembersOnly/technology/details.aspx?item=10614>. Visitada en marzo 2010.
- Smelt, J.P.P.M., 1998. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends Food Science Technology* Vol. 9, págs. 152-158.
- Solberg, M., y Franke, W.C., 1971. Photosensitivity of fresh meat color in the visible spectrum. *Journal of Food Science* nº36, pág. 990.

- Sorheim, O., Nissen, H., y Nesbakken, T., 1999. The storage life of beef and pork packaged in a modified atmosphere with low carbon monoxide and high carbon dioxide. *Meat Science* nº52, págs. 157-164.
- Soriano, A., Villaseñor, P.J., Utrilla, M.C., Lopez, A., García Ruiz, A., 2009. Efecto de la refrigeración sobre los parámetros microbiológicos, físico-químicos y los relacionados con el color, la proteólisis y la oxidación lipídica del lomo de cerdo blanco. *Alimentaria*, nº 406 págs. 76-82.
- Stewart, M. R., Zipser, M. W. y Watts, B. M., 1965. The use of reflectance spectrophotometry for the assay of raw meat pigments. *Journal of Food Science*, nº 30, págs. 464-49.
- Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., Bigger, S.W. 2003. Active packaging technologies with emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science* nº 68, págs. 408-420.
- Tarladgis BG, Watts BM, Younathan MT and Dungan LR Jr 1960. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid food. *Journal of the American Oil Chemists Society*, Nº 37, 44-48.
- Téllez, J., 2005. La calidad de la carne de vacunos. I Congreso Peruano de la Carne, Profesor ponente UNALM. 24-27 Agosto, Lima, Perú.
- Tharanathan, R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical Review in Food Science and Technology* nº 14, págs. 71-78.
- Valin, C., Renerre, M., Touraille, C., Koop, J., y Sornay, J., 1978. Effect of the type of energy source in the ration and of anabolic hormones on the quality of veal. *Annales de la Nutrition et de l' Alimentation*, nº32, 857.
- Van den Oord, A.H.A., y Wesdorp, J.J., 1971. Colour rating and pigment composition of beef. *Journal of Food Science and Technology* nº6, pág.15.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Van Beest, M., de Kruijf, N., Debevere, J., 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology* nº 10, págs. 77-86.
- Vieira, C., Cerdeño, A.I., Giráldez, F.J., Mantecón, A.R., 1999. Variación en el color de la carne de terneros pasteros. *ITEA Vol. Extra 20, Tomo I*, págs. 44-46.
- Vieira, A., 2007. La oxidación lipídica y el uso de antioxidantes sintéticos. www.alimentación.enfasis.com. Visitada en marzo de 2010.
- Vigara, J., León, R., Garbayo, I., 2007. Archivos de bioquímica de la Universidad de Huelva, <http://www.uhu.es/08007/>. Visitada en marzo 2010.
- Villada, H.S., Acosta, H.A., Velasco, R.J., 2009. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Mundo alimentario*, Sept-Oct. 2009, págs. 27-31.
- Warris, P.D., y Rhodes, D.N., 1977. Haemoglobin concentrations in beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, nº28, pág. 931.

West, G.E., Larue, B., Gendron, C., Scott, S.L., 2002. Consumer Confusion Over the Significance of Meat Attributes: The Case of Veal. *Journal of Consumer Policy*, nº 25, págs. 65–88. Kluwer Academic Publishers., Netherlands.

Wulf, D. M., O'Connor, S. F., Tatum, J. D. y Smith, G.C., 1997. Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness. *Journal of Animal Science*, nº 75, págs. 684-692.

Wulf, D.M., Wise, J.W., 1999. Measuring muscle color on beef carcasses using the L*a*b* color space. *Journal of Animal Science* nº 77, págs. 2418-2427.

CAPITULO VIII: ANEXOS

Tabla 1. Diferencias de medias de los parámetros de color L*a*b* en los minutos tras el corte y hasta el minuto 102 para la carne de las dietas A y B madurada 24 horas. P > 0,5: ns; P < 0,5: *

DIETA		Min												
		0	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	102
A	L*	33,12	33,05	35,87	35,57	33,04	32,87	33,56	33,64	32,52	32,07	32,83	31,94	32,86
	ES	0,83	0,95	0,84	1,05	0,72	0,54	0,70	0,72	0,98	0,82	0,73	0,63	0,69
	Diferencia	-0,3	-0,2	-3,0	-2,7	-0,2	0,0	-0,7	-0,8	0,3	0,8	0,0	0,9	0,0
	Sig	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	a*	16,22	20,76	25,48	18,85	20,55	21,30	20,39	20,60	20,61	22,16	21,34	21,66	21,21
	ES	0,66	1,11	0,95	0,77	0,39	0,46	0,68	0,57	0,57	0,58	0,58	0,51	0,53
	Diferencia	5,0	0,5	-4,3	2,4	0,7	-0,1	0,8	0,6	0,6	-0,9	-0,1	-0,4	0,0
	Sig	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
	b*	5,93	2,98	13,63	9,27	9,80	9,92	9,52	9,89	10,37	11,10	10,73	11,03	10,69
	ES	0,46	0,71	0,46	0,55	0,39	0,39	0,57	0,57	0,38	0,55	0,47	0,41	0,34
Diferencia	4,8	7,7	-2,9	1,4	0,9	0,8	1,2	0,8	0,3	-0,4	0,0	-0,3	0,0	
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
B	L*	31,81	31,78	31,22	31,76	30,92	30,68	31,10	29,80	31,09	30,96	32,08	32,50	33,58
	ES	0,77	0,75	0,65	0,74	0,49	0,65	0,34	1,59	0,37	0,48	0,59	0,66	0,82
	Diferencia	1,8	1,8	2,4	1,8	2,7	2,9	2,5	3,8	2,5	2,6	1,5	1,1	0,0
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	a*	18,35	20,00	20,12	20,76	21,38	21,27	21,85	20,59	21,55	21,67	21,20	20,78	20,33
	ES	0,57	0,64	0,60	0,50	0,45	0,48	0,41	1,10	0,36	0,35	0,28	0,46	0,58
	Diferencia	2,0	0,3	0,2	-0,4	-1,0	-0,9	-1,5	-0,3	-1,2	-1,3	-0,9	-0,4	0,0
	Sig	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*	*	*	ns	ns
	b*	6,94	8,87	8,88	9,44	9,78	9,60	10,24	9,58	10,26	9,87	10,22	9,75	9,68
	ES	0,35	0,36	0,34	0,26	0,30	0,24	0,29	0,56	0,23	0,26	0,29	0,29	0,36
Diferencia	2,7	0,8	0,8	0,2	-0,1	0,1	-0,6	0,1	-0,6	-0,2	-0,5	-0,1	0,0	
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	

Tabla 2. Diferencias de medias de los parámetros de color L*a*b* en los minutos tras el corte y el minuto 102 para la carne de las dietas A y B madurada 8 días. P > 0,5: ns; P < 0,5: *

DIETA		Min												
		0	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	102
A	L*	28,88	29,55	32,97	33,22	33,80	34,25	33,22	33,94	32,51	33,29	33,40	33,10	34,27
	ES	1,52	1,61	1,03	1,03	1,09	1,07	1,06	0,99	0,93	1,12	1,18	1,01	1,19
	Diferencia	5,4	4,7	1,3	1,0	0,5	0,0	1,1	0,3	1,8	1,0	0,9	1,2	0,0
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	a*	26,33	28,46	26,78	27,27	27,96	28,34	27,88	27,84	29,45	29,02	29,05	28,90	27,99
	ES	1,30	1,21	0,67	0,79	0,58	0,71	0,80	1,00	0,52	0,73	0,76	0,55	0,68
	Diferencia	1,7	-0,5	1,2	0,7	0,0	-0,4	0,1	0,1	-1,5	-1,0	-1,1	-0,9	0,0
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns
	b*	11,58	17,73	16,08	16,47	16,95	16,79	16,40	16,51	17,72	16,84	16,85	16,67	15,70
	ES	0,42	0,96	0,55	0,71	0,52	0,64	0,73	0,84	0,41	0,67	0,65	0,55	0,63
Diferencia	4,1	-2,0	-0,4	-0,8	-1,2	-1,1	-0,7	-0,8	-2,0	-1,1	-1,2	-1,0	0,0	
Sig	ns	*	ns	*	*	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	
B	L*	34,26	32,33	32,95	33,28	34,25	32,68	33,64	33,03	32,40	31,86	32,93	32,33	32,46
	ES	1,02	0,83	0,89	1,04	1,10	0,85	0,90	0,67	0,74	0,78	0,90	0,71	0,84
	Diferencia	-1,8	0,1	-0,5	-0,8	-1,8	-0,2	-1,2	-0,6	0,1	0,6	-0,5	0,1	0,0
	Sig	*	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	a*	18,11	24,03	23,71	24,66	24,02	24,99	24,16	24,56	24,78	25,67	24,54	24,69	24,83
	ES	0,82	0,50	0,66	0,59	0,79	0,75	0,82	0,52	0,69	0,77	0,79	0,59	0,62
	Diferencia	6,7	0,8	1,1	0,2	0,8	-0,2	0,7	0,3	0,1	-0,8	0,3	0,1	0,0
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
	b*	7,94	13,17	12,86	13,92	13,26	13,62	13,35	13,37	13,33	13,83	13,41	12,99	13,17
	ES	0,44	0,42	0,53	0,46	0,62	0,64	0,72	0,51	0,62	0,63	0,68	0,57	0,53
Diferencia	5,2	0,0	0,3	-0,7	-0,1	-0,5	-0,2	-0,2	-0,2	-0,7	-0,2	0,2	0,0	
Sig	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	

