

UNIVERSIDAD



DE EXTREMADURA

TESIS DOCTORAL

**APTITUD DE DISTINTOS SISTEMAS DE CONSERVACIÓN PARA
LA PROLONGACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE CARNE FRESCA DE
CERDO IBÉRICO PARA EL CONSUMO DIRECTO Y DE
PRODUCTOS DERIVADOS**

María Jesús Martín Mateos

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL Y CIENCIA DE LOS
ALIMENTOS
ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Conformidad del/los Director/es:

Fdo.: Ana Isabel Andrés Nieto

Fdo.: M^a Montaña López Parra

2013



ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos

Ana Isabel Andrés Nieto, Doctora en Veterinaria y Profesora Titular del área de Tecnología de Alimentos en la Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada "Aplicación de distintos sistemas de conservación para la prolongación de la vida útil de carne fresca de cerdo ibérico para el consumo directo y de productos derivados", de la que es autora la Licenciada en Biología y en Ciencia y Tecnología de los Alimentos Dña. María Jesús Martín Mateos, ha sido realizada en el Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos bajo mi codirección y cumple las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor.

Badajoz, 17 de Julio de 2013

Fdo.: Ana I. Andrés Nieto



M^a Montaña López Parra, Doctora en Veterinaria e Investigadora del Centro de Investigación finca “La Orden-Valdesequera” de la Junta de Extremadura,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada “Aplicación de distintos sistemas de conservación para la prolongación de la vida útil de carne fresca de cerdo ibérico para el consumo directo y de productos derivados”, de la que es autora la Licenciada en Biología y en Ciencia y Tecnología de los Alimentos Dña. María Jesús Martín Mateos, ha sido realizada en el Departamento de Producción Animal del Centro de Investigación finca “La Orden-Valdesequera” bajo mi codirección y cumple las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor.

Badajoz, 17 de Julio de 2013

Fdo.: M^a Montaña López Parra

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi gratitud a todas aquellas personas e instituciones que de algún modo han contribuido a la realización de esta Tesis Doctoral.

A la Junta de Extremadura por la financiación del proyecto en el que se engloba esta tesis (PDT08B006) mediante el III Plan Regional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

A Carmela Sanabria, mi “jefa” durante todos estos años en el Área de Carnes del INTAEX, por confiar en mí y hacer todo lo posible por mantener mi estancia en el departamento, y porque si no hubiese sido por ella no me habría decidido a llevar a cabo esta tesis.

Al Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura (INTAEX, Junta de Extremadura) por facilitarme todos los medios técnicos y económicos para el desarrollo de esta tesis.

A mis directoras, Ana y Montaña, por su asesoramiento y ayuda prestada, por su grata labor de dirección durante estos años.

Ana, muchísimas gracias por todo, estoy aprendiendo mucho de ti.

A mis compañeras y amigas en el departamento, Olivia, Nieves e Isa, por toda la ayuda prestada y por su disponibilidad y capacidad para el trabajo. Gracias chicas por hacer más fácil y agradable el trabajo de todos los días.

Al resto de compañeros del INTAEX que me han ayudado a hacer posible este trabajo.

A Manuela Adame (Técnico de Calidad de MONTESANO S.A.), por resolver tan eficazmente todas las dudas y cuestiones que le he planteado.

A mis amigos y amigas, los de la infancia y los que he conocido desde que comencé mi andadura en Badajoz, han sido muchos y muy buenos los momentos vividos.

A mis padres, por los valores que me han inculcado y por su esfuerzo para darnos la oportunidad de tener una excelente educación. Sobre todo por ser un gran ejemplo de vida a seguir.

A mi hermana, por ser una parte importante de mi vida y mi mejor amiga. Contigo he compartido alegrías y penas, gracias por todos tus consejos y por estar ahí siempre que te he necesitado.

A mis sobrinos, Alba y Darío, por su alegría y su cariño.

A mi familia política, por acogerme desde el primer momento como si hubiese formado parte siempre de la familia.

Y sobre todo a Rafa, por su enorme paciencia durante todo este tiempo y por aguantar mis cambios de humor. Gracias por estar conmigo día tras día y apoyarme siempre e intentar sacarme una sonrisa en los momentos en los que me podía la presión.

A MI FAMILIA

A RAFA

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	5
I.1- EL CERDO IBÉRICO.....	5
I.2.- SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR DE PORCINO IBÉRICO. IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE PORCINO IBÉRICO.....	10
I.3.- CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS DERIVADOS DEL CERDO IBÉRICO.	12
I.4.- SISTEMAS DE CONSERVACIÓN DE LA CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS.....	22
I.4.1.- Congelación.....	22
I.4.1.1.- <i>El proceso de la congelación en el tejido muscular</i>	22
I.4.1.2.- <i>Sistemas de congelación</i>	24
I.4.1.3.- <i>Efecto de la congelación sobre la calidad de la carne</i>	25
I.4.1.4.- <i>Efectos de la congelación sobre la estabilidad oxidativa</i>	27
I.4.1.5.- <i>Efectos de la congelación sobre la textura</i>	28
I.4.1.6.- <i>Efectos de la congelación sobre el color</i>	29
I.4.1.7.- <i>Efectos de la congelación sobre la calidad higiénica</i>	30
I.4.2.- Envasado en atmósferas modificadas (EAM).....	32
I.4.2.1.- <i>Gases utilizados en el EAM</i>	34
I.4.2.2.- <i>Materiales utilizados en el EAM</i>	37
I.4.2.3.- <i>Equipos de envasado</i>	38
I.4.2.4.- <i>Efecto del envasado en el color de la carne</i>	41
I.4.2.5.- <i>Efecto del envasado en la textura de la carne</i>	42
I.4.2.6.- <i>Oxidación de la carne y productos cárnicos durante el envasado</i>	43
I.4.2.7.- <i>Calidad higiénica de la carne y productos curados durante el envasado</i>	46
II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS	53
III. MATERIAL Y MÉTODOS	57
III.1.- DISEÑO EXPERIMENTAL	57
III.1.1- Ensayo 1: Congelación/descongelación/EAM de carne fresca de cerdo ibérico (presa ibérica).....	57
III.1.2- Ensayo 2: EAM de productos cárnicos curados fermentados, chorizo sarta, salchichón y chorizo vela.....	59
III.2.- ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LAS MUESTRAS	61
III.2.1- Medición del color instrumental.....	61
III.2.2- Análisis espectral de los valores de reflectancia de la superficie de las muestras de carne fresca y embutidos.....	62

III.2.3-	Análisis de la textura	64
III.2.4-	Determinación de la oxidación lipídica.....	67
III.2.5-	Determinación de la oxidación protéica	68
III.2.6-	Contenido de vitamina E	68
III.3.-	ANÁLISIS SENSORIAL DE LAS MUESTRAS	69
III.4.-	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	72
III.5.-	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	73
III.6-	SIMCA.....	74
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
IV.1.-	MÚSCULO <i>SERRATUS VENTRALIS</i> (“PRESA” IBÉRICA)	77
IV.1.1.-	Color L*, a*, b*	77
IV.1.2.-	Análisis espectral de los estados químicos de la mioglobina	82
IV.1.3.-	SIMCA	95
IV.1.4.-	Textura	100
IV.1.5.-	Oxidación lipídica.....	106
IV.1.6.-	Oxidación protéica	109
IV.1.7.-	Contenido de vitamina E	112
IV.1.8.-	Análisis sensorial	115
IV.1.9.-	Resultados microbiológicos	118
IV.2.-	EMBUTIDOS CRUDOS CURADOS	121
IV.2.1.-	Color L*, a*, b*	121
IV.2.2.-	Ratios de reflectancia	128
IV.2.3.-	SIMCA	139
IV.2.4.-	Textura	151
IV.2.5.-	Oxidación lipídica.....	163
IV.2.6.-	Oxidación protéica	168
IV.2.7.-	Análisis sensorial	171
IV.2.8.-	Resultados microbiológicos	178
V.	CONCLUSIONES.....	187
VI.	BIBLIOGRAFÍA	191
VII.	PUBLICACIONES	229

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El cerdo ibérico es una especie propia de la Península Ibérica que se caracteriza por su sistema de manejo, en el cual el animal debe tener libertad para moverse y para alimentarse de bellotas y hierbas principalmente. Este peculiar sistema es precisamente lo que determina en gran parte las valoradas características de los productos cárnicos derivados del cerdo ibérico (Ventanas y col., 2005; Ventanas y col., 2007).

Por otra parte, la raza y sus características genéticas, ejercen una importante influencia sobre la calidad de la carne y productos cárnicos derivados (Muriel y col., 2004; Carrapiso y col., 2008). Los productos cárnicos ibéricos, provenientes de cerdos alimentados con bellota, alcanzan una elevada producción en Extremadura al tratarse de la región de mayor extensión de dehesas y la mayor productora de cerdo ibérico. Teniendo en cuenta la gran aceptación de la carne procedente de cerdo ibérico y de los embutidos ibéricos en Europa y Japón, sería muy interesante para la región ofrecer la posibilidad de mantener el producto con todas sus cualidades durante más tiempo, por lo que se considera importante el establecimiento de un sistema de conservación que suponga un freno de la carga microbiana inicial de la carne fresca y las piezas de embutidos ibéricos, como por ejemplo un sistema de envasado posterior que ralentice el crecimiento de la misma durante el mayor tiempo posible, aumentando con ello el periodo de vida útil del producto y mejorando su manejo, distribución y comercialización. Ello daría lugar a una nueva línea de exportaciones desde Extremadura, con la consiguiente repercusión para la economía de la zona.

Por todo ello, con este trabajo se pretende contribuir significativamente a la mejora de la producción de la carne fresca de cerdo ibérico y productos derivados, así como a de su conservación para comercialización gracias a la transferencia al sector de los resultados y conclusiones que en este proyecto se obtengan a este sector. Este objetivo está ampliamente demandado por las asociaciones y cooperativas del sector cárnico de porcino ibérico en nuestra región.

I.1- El cerdo Ibérico.

El cerdo ibérico es un ejemplo fundamental para comprender la ganadería extensiva en España, porque en su sistema de manejo se logra una coordinación entre un medio físico muy característico, como es la dehesa, y el aprovechamiento de los productos de ésta por los animales, ya que su alimento lo basan en la bellota y los

pastos. La explotación extensiva del cerdo ibérico es uno de los pocos sistemas de producción animal en el que la relación entre el animal y el medio ambiente es completa. Por ello, esta raza no tendría razón de ser fuera de su entorno habitual de la dehesa.

Con la denominación de cerdo Ibérico se hace referencia a una “agrupación racial Ibérica” o “grupo Ibérico” derivado del cerdo arcaico mediterráneo (*Sus mediterraneus* o *Sus scrofa meridionales*) asentado en la áreas meridionales y centrales de la península Ibérica (principalmente en Extremadura, Andalucía y en el Alentejo Portugués) constituida por diferentes variantes que se distinguen por presentar una serie de características productivas y fenotípicas comunes. Dentro de estas variedades o líneas, las más significativas son: Retinto, Lampiño, Entrepelado, Torbiscal, Mamellado, Dorado gaditano y Manchado de Jabugo (Dieguez, 2000). Según Gómez Nieves y cols. (2005) actualmente aparecen como tipos más extendidos el Retinto Extremeño, de capas que van desde el tono canela hasta el rojo oscuro o retinto provisto de cerdas de igual coloración (líneas Silvela, Villalón, Valdesequera) y el Entrepelado, de coloración oscurecida y pelo ralo. Con escaso número de representantes aparece el Lampiño, de coloración variable desde un acentuado negro hasta tonos gris ceniza y totalmente carentes de cerdas, el Manchado de Jabugo, de capa rubia con grandes manchas oscuras, el Mamellado, entroncado con la variedad retinta de la que se diferencia por presentar mamellas y el Dorado Gaditano, de capa roja viva y dorada reducido a un único núcleo existente en la provincia de Cádiz.

Las características más destacables de la raza Ibérica pueden resumirse en: elevada rusticidad, consecuencia de la adaptación al ecosistema de la dehesa, tendencia a acumular grasa, alto nivel de vetado de los músculos y baja o nula susceptibilidad al estrés. El carácter rústico de esta raza autóctona se pone de manifiesto en su mayor capacidad para resistir condiciones climatológicas adversas, así como cambios bruscos de las mismas y en soportar periodos prolongados de escasez de alimentos consecuencia de las variaciones estacionales y etapas de baja producción de alimentos. Por tanto, esta raza presenta una excelente capacidad para conseguir un aprovechamiento óptimo de los recursos naturales, mientras que desde el punto de vista productivo y reproductivo, presenta una serie de deficiencias en comparación con las razas de cerdos comerciales (peores índices de transformación de los alimentos, mala conformación cárnica, baja prolificidad, bajo índice de crecimiento, etc.), las cuales se han conseguido mitigar mediante el cruce con otras razas porcinas más seleccionadas, principalmente la raza Duroc.

El marcado carácter adipogénico de la raza Ibérica es uno de los factores más importantes que determinan la calidad de los productos derivados (López-Bote, 1998). Gracias al sistema de montanera, que conjuga eficazmente alimentación, ejercicio y raza, existe un alto porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados en la grasa en los productos del cerdo ibérico, a diferencia de aquellos procedentes de cerdos criados con piensos comerciales en régimen intensivo. Hoy en día se utilizan piensos en la fase de cebo que emulan esa fluidez típica del animal alimentado con bellota, siendo ésta a veces excesiva, aunque en estos casos no consiguen el aroma adecuado (Ventanas, 1994).

Recientes estudios médicos ponen de manifiesto el efecto beneficioso sobre la salud del consumo de este tipo de grasas en la dieta, como alternativa a carnes con mayor grado de saturación (García Rebollo y col., 1998; García Rebollo y col., 1999; Macía Botejara, 2005 a, 2005b).

Tradicionalmente el ciclo productivo del cerdo Ibérico se caracterizaba por alternar periodos de abundancia y escasez de alimentos, coincidiendo éstos últimos principalmente en los momentos en los que el cerdo estaba desarrollando su tejido muscular. Por el contrario, los periodos de abundancia de alimentos coincidían con la fase de cebo, cuando el animal está ya plenamente desarrollado, de forma que la mayor parte de la energía de la dieta la destinaba a la síntesis de grasa. Por tanto, una de las fases más importantes y que tiene una mayor repercusión en la calidad de la materia prima es la fase de cebo. Tradicionalmente, el cebo clásico del cerdo Ibérico se realizaba “en montanera”, es decir, basado en una explotación en extensivo aprovechando los recursos naturales, hierba y bellota principalmente, de la dehesa. La escasez de recursos disponibles, la limitación en el número de animales junto con la marcada estacionalidad de la explotación en montanera y el incremento de la demanda de productos del cerdo Ibérico por parte de los consumidores, determinó la aparición de sistemas de explotación durante la fase de cebo complementarios o diferentes al tradicional en montanera (Tejeda y González, 2000).

En la actualidad, el borrador de la Norma de Calidad del Ibérico (Proyecto de Real Decreto/2013) diferencia entre tres tipos de alimentación:

- “De bellota”, para aquellos productos elaborados a partir de animales que han sido alimentados exclusivamente por el aprovechamiento de la dehesa.
- “De cebo de campo”, para los productos elaborados a partir de animales alimentados con aprovechamiento en dehesa, campo y/o pienso. Bajo esta

designación podrán funcionar dos tipos de sistemas de cría, en extensivo y en intensivo. La estancia mínima en dichas explotaciones, previa a su sacrificio, será de 60 días.

- “De cebo”, que podrá ser empleada para aquellos productos elaborados a partir de animales cuya alimentación hasta alcanzar el peso de sacrificio se ha llevado a cabo con pienso en sistema intensivo. .

La carne de cerdo, al igual que la de otros animales de abasto, está constituida mayoritariamente por agua, proteínas y grasa, aunque también posee pequeñas cantidades de otras sustancias como las nitrogenadas no proteicas, carbohidratos, ácido láctico, minerales, vitaminas, etc. La composición química de la carne de cerdo puede variar dependiendo de factores intrínsecos (raza, edad, sexo, parte de la canal considerada, etc...) y de factores extrínsecos, entendiéndose por éstos el hábitat, manejo, alimentación, etc. (Álvarez, 2003).

La calidad de los productos derivados del cerdo ibérico está condicionada fundamentalmente por:

Genética. Aunque de unas razas a otras pueden existir diferencias en el porcentaje en proteínas, diámetro de las fibras musculares y resistencia a la fuerza de cizalla de la carne, etc., las variaciones más amplias se observan en el contenido en grasa. El cerdo Ibérico posee un mayor contenido en grasa intramuscular comparativamente con las razas de cerdo blanco. Esta grasa proporciona el bouquet y mejora la aceptación de la carne por parte del consumidor.

Edad y peso en el sacrificio. La edad influye también en la composición de la carne, tanto en las proteínas, que al avanzar la edad tienen menos colágeno, aunque con más entrecruzamientos (lo que determina una mayor dureza de animal adulto), como en la grasa, que debido al carácter adipogénico de esta raza y al prolongado ciclo productivo de cerdo ibérico hace que la edad del animal en el momento del sacrificio sea más avanzada que en los sistemas intensivos, provocando una mayor acumulación de grasa de depósito y un fuerte grado de infiltración. Además, la edad influye en la composición de ácidos grasos de esta grasa (González Martín, 2005), ya que Filer y col. (1974), trabajando con cerdos, encontraron un aumento de la insaturación al aumentar la edad. Berchawer (1984) señala una mayor concentración de ácido oleico en el tejido adiposo de cerdos adultos que en jóvenes y una menor proporción equivalente a la de ácidos grasos poliinsaturados. La mayor edad de

sacrificio determina también que exista una mayor cantidad de mioglobina en el músculo con respecto a la encontrada en otras razas porcinas y por lo tanto que el color del magro sea más intenso.

Ejercicio. Es de sobra conocido que el ejercicio afecta a las características del músculo y por tanto, a las de la carne. En general, el ejercicio moderado continuo provoca un aumento en el número de fibras rojas (oxidativas) en el músculo, contribuyendo de esta manera al aumento de los niveles de mioglobina, que alcanzan tasas 3 a 4 veces superiores (3.73-4.60 mg/g) (Andrés y col., 2000), a los del cerdo blanco (0,6 a 1,8 mg/g) (Petersen, 1996; Johansson y col., 1991) y por lo tanto determinando que el color de la carne sea más intenso. Además, cabe la posibilidad de que la diferente proporción de fibras rojas y blancas (glicolíticas) que conforman el músculo esté relacionado con cambios en la cantidad de grasa infiltrada y en las tasas de algunas fracciones lipídicas como los fosfolípidos, con importantes repercusiones sobre la jugosidad y el aroma de los productos derivados (Andrés y col., 2001; Ruiz y col., 2005;).

Alimentación en un régimen extensivo con bellotas y hierba. De todos los factores que influyen en la calidad, tanto de la materia prima como de los productos derivados del cerdo ibérico, es quizás la alimentación la que más importancia tiene, ya que va a condicionar la composición de la grasa, así como ciertas características asociadas a la calidad (consistencia y fluidez de la grasa, brillo del magro, etc.). En el caso del cerdo, al tratarse de un animal con estómago monocavitario, los ácidos grasos ingeridos son escasamente modificados durante el proceso digestivo, por lo que la composición de la grasa ingerida determina en gran parte las características de los lípidos corporales del animal (Ventanas y col., 2000; Mourot & Hermier, 2001; Wood y col., 2003).

La bellota, en el momento de su consumo, contiene hasta un 60% de materia seca, con una elevada concentración de ácido oleico, que posteriormente se refleja en la composición de los ácidos grasos de la carne. La grasa del cerdo ibérico se caracteriza por su alto contenido en ácido oleico (55%) en relación a los cerdos alimentados con dietas de pienso (49%). Además, tanto las bellotas como la hierba que ingieren los cerdos contienen numerosas sustancias con propiedades antioxidantes. En particular, las bellotas son ricas en α - y γ - tocoferol y en taninos, y la hierba en α -tocoferol, compuestos fenólicos y ácidos grasos poliinsaturados omega 3 (Tejerina y col., 2011; Cantos y col., 2003; Rakic y col., 2006), que se acumulan en los

tejidos del animal y afectan a la estabilidad oxidativa, la composición y la calidad de la carne y productos cárnicos (Tejerina, 2011).

I.2.- Situación actual del sector de porcino Ibérico. Importancia económica de la producción de porcino Ibérico.

El sector porcino es el primer sector de la ganadería de nuestro país, con una producción anual de cerdo blanco que supone más de 5.000 millones de euros al año, lo que le coloca como el segundo productor de la Europa de los 27 (MAGRAMA, 2012). Estas cifras configuran al sector porcino español como un líder europeo. Actualmente España es el segundo productor de carne de cerdo blanco de la Unión Europea con un 15,5% del total de producción, únicamente superado por Alemania. Así mismo, la Unión Europea es el segundo productor a nivel mundial de porcino (22,3%), sólo superado por China, con un 49,0% de la producción mundial (MAGRAMA, 2012).

Las exportaciones porcinas españolas en 2011, pese a la desaceleración del comercio mundial de carne de cerdo, han mantenido una situación de estabilidad, incluso con un incremento estimado en el 2%, lo que supone más de 1,2 millones de toneladas. Esta cifra positiva se debe, principalmente al mantenimiento de la tendencia creciente de las exportaciones hacia los socios comunitarios, siendo Francia y Portugal los principales destinos. El principal producto exportado por volumen ha sido la carne fresca o refrigerada, con un total de 764 miles de toneladas (MAGRAMA, 2012). Por otro lado, se ha detectado un aumento de las exportaciones a países terceros, en torno al 6%, siendo de nuevo la carne el principal producto exportado (86 mil toneladas), principalmente a países como Rusia (41,9%) y Hong-Kong (25%).

Sin embargo, el sector porcino Ibérico no atraviesa sus mejores momentos debido a distintos factores como la caída de la demanda ante la recesión económica que se vive, una sobreproducción de años anteriores que responde tanto a factores internos (exceso de oferta) como externos (crisis de materias primas en cuanto al precio de los animales, el alto precio de la materia prima para su cebo, la sobreproducción, etc., y crisis económica global), y también por la confusión entre los consumidores sobre las distintas calidades y “apellidos” de este producto. Nos encontramos ante uno de los momentos más duros vividos por el sector ibérico. Tanto ganaderos como industriales están pasando momentos difíciles, ya que la sobreproducción de años anteriores unida a la escasez en la demanda de productos de este tipo y la falta de soluciones claras y rápidas para conseguir financiación

económica para las próximas campañas, han motivado que la mayoría de las empresas hayan tenido que replantear sus estrategias de cara al futuro.

Según datos del año 2010, en nuestro país, la mayoría del censo porcino de extensivo se sitúa en Extremadura, abarcando el 51,37% del total. Le sigue por importancia, en cuanto a número de cerdos en extensivo, Andalucía, con el 31,44% del total de animales, y Castilla y León con el 16,36%. En Castilla-La Mancha la presencia de animales en extensivo es prácticamente testimonial y tan sólo encontramos el 0,72% del total del censo de extensivo (Cruz, 2011). En el año 2009 se produjo una caída del censo de ganado porcino extensivo del 16% respecto al año anterior, aunque los últimos datos de la Subdirección General de Estadística del MARM muestran que en mayo de 2010 había 1.92 millones de animales, un 5,1% más que en 2009 (Cruz, 2011). Los descensos más acusados fueron experimentados por el ibérico de recebo, del 66,5%; seguida a distancia por el de cebo, con una bajada del 18,85, y por el de bellota, con el 18,6% (Eurocarne, 2011).

A pesar de la crisis en la que se encuentra el sector del porcino (junto a otros) debido al descenso de los precios de venta, la producción carne de cerdo en Extremadura fue de 66.6 miles de toneladas en 2011 (MAGRAMA, 2012) y el nivel de consumo de productos derivados del cerdo ibérico se ha mantenido debido a una mayor demanda de productos de cebo (Cruz, 2010a).

El sector ibérico ha desarrollado durante estos últimos años una actividad innovadora considerable para adaptarse a las exigencias del consumidor, sobre todo en lo que respecta a productos como el jamón curado, aumentando así la comercialización en formatos distintos a la pieza entera, principalmente loncheados y envasados. Además, también en los últimos años ha aumentado en gran medida la demanda de carne fresca procedente de cerdo ibérico (Ramírez y Cava, 2007), debido a la alta calidad de su materia prima. Por tanto, las piezas procedentes del despiece de la canal del cerdo Ibérico se han incluido en la regulación que establece la norma de calidad para los productos del ibérico. Según una encuesta realizada por el MARM a los consumidores en cuanto al consumo de carne de porcino, un 28,8 % de los entrevistados declaran consumir carne procedente de cerdo ibérico, especialmente el lomo, el solomillo y el secreto (MARM, 2010). Descubierta hoy en día la potencialidad de la venta de carne para consumo en fresco, muchas empresas han iniciado la comercialización de carnes frescas de ibérico, envasadas al vacío o con atmósferas protectoras dirigidas en general hacia la gran distribución. Concretamente destaca el

auge que está teniendo la comercialización de piezas como la presa, el secreto, etc. en estos formatos de venta como ya se explicará más adelante en el apartado I.1.3.

Por otra parte, en la sociedad actual hay una gran preocupación por el consumo de productos saludables. En este sentido, la última década ha sido sin duda una década gloriosa en el sector del porcino ibérico. Se ha sabido y demostrado que los productos derivados del ibérico son cardiosaludables, sobre todo los que provienen de cerdos alimentados con bellota y hierbas en extensivo (García Rebollo y col., 1998; García Rebollo y col., 1999; Macía Botejara, 2005 a, b), siendo esto muy importante para nuestra región, ya que es la de mayor extensión de dehesas y por tanto la mayor productora de cerdo ibérico. En el año 2003 se creó en Europa la Federación Sur Europea de Razas Porcinas Autóctonas en Régimen Extensivo (FESERPAE) que agrupa a los productos de raza de porcino criados en régimen extensivo, con el fin de potenciar la demanda de carnes con mejores características organolépticas y más cardiosaludables. Nuestro cerdo ibérico es el líder de esta Asociación lo cual refleja la relevancia real y gran potencial futuro de este sector. De hecho, en pocos años se han conseguido avances importantes en cuanto a la posibilidad de exportar productos derivados del cerdo ibérico (jamón ibérico, paleta ibérica, secreto, solomillo, lomo, etc.) a nuevos mercados (China, Estados Unidos, Australia,...) (Eurocarne Digital, 2010a, b). En los próximos años se debe seguir afrontando este reto de forma organizada para lo cual la incorporación de nuevas tecnologías de producción y de conservación resulta una estrategia de vital importancia.

I.3.- Carne y productos cárnicos derivados del cerdo ibérico.

La carne es el tejido animal, principalmente muscular, obtenido después de matar a un animal en el matadero y eliminar las vísceras en condiciones de higiene adecuadas tanto del proceso como del animal, y que se consume como alimento. La mayor parte del contenido de la carne es de origen proteico, generalmente colágeno o elastina, además de la actina y la miosina, ambas responsables de las contracciones musculares. La carne posee un gran valor nutritivo, ya que proporciona macronutrientes como las proteínas, y por tanto aminoácidos esenciales, y los ácidos grasos, y además proporciona micronutrientes como minerales (principalmente hierro principalmente, los demás minerales no suponen más de 1% del peso de la carne), vitaminas (vitamina B12, vitamina A, ácido fólico,...), etc. La carne aporta muy pocos carbohidratos (generalmente en forma de glucógeno) y contiene muy poca fibra. El contenido medio (en peso) de la carne oscila entre un 70% de agua, un 20% de

proteína, un 7% de grasa y 1% de minerales, variaciones que dependen del tipo de animal, de la raza y de su régimen alimentario (Onega, 2003).

La carne de cerdo Ibérico criado en extensivo presenta tanto en piezas como el lomo (músculo *Longissimus dorsi*) o la presa (músculo *Serratus ventralis*) un perfil lipídico donde destaca el contenido en ácidos grasos monoinsaturados, aproximadamente un 55%, mayoritariamente en forma de ácido oleico, entre un 58 y un 59% comparado con el 40-45% en cerdo blanco (Martín-Peña y col., 1992) y poliinsaturados (alrededor de 7,5%) como son los ácidos linoleico y linolénico (Tejerina y col., 2012a) que tienen un efecto cardioprotector, al contrario que los ácidos grasos saturados, que en la carne de cerdo ibérico se encuentra en menor cantidad (De Pedro, 2001). Además, esta carne contiene compuestos antioxidantes como el α -tocoferol y γ -tocoferol procedentes del consumo de hierba y bellotas durante el periodo de Montanera (Tejerina y col., 2012a; Rey y col., 2006). De entre las características implicadas en la calidad de la carne y productos del cerdo ibérico, no cabe duda que la cantidad y composición de la grasa es la principal y a la que más atención se le ha dedicado (Fernández y col., 2003; Muriel y col., 2004). No obstante, existen otros parámetros, como el contenido de mioglobina, mayor en músculos de animales criados en el sistema de Montanera que en cerdos provenientes de otros sistemas de producción (Tejerina y col., 2012b), el color del magro y la grasa subcutánea de la carne y productos cárnicos (Carrapiso y García, 2005), o la cantidad y naturaleza del colágeno, responsable en gran medida de la textura de la carne, que también merecen una mención específica. Estos atributos de calidad de la carne son vitales para la decisión y fidelización de la compra.

Tabla I.1- Consumo de carne fresca y productos transformados de cerdo en la población española (Fuente: MAGRAMA, 2012).

CONSUMOS ANUALES EN LOS HOGARES (toneladas)						
Productos	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Carne fresca	507.310	506.774	519.962	517.761	512.837	493.487
Transformados	467.675	489.229	511.546	558.478	561.386	560.439

El consumo de carne fresca de cerdo en los hogares españoles ha aumentado en el año 2008, y se ha mantenido constante (MARM, 2010) como se observa en la Tabla I.1. En el caso concreto de la carne de cerdo Ibérico, el consumo de la misma está experimentando un incremento significativo debido a que el consumidor ya no sólo compra productos típicos de este animal como el jamón o el lomo, sino que empieza a descubrir y valorar otras piezas de este animal menos conocidas, como son la “presa de entraña”, el “secreto ibérico” o el “engaño”, que han alcanzado una alta consideración y aceptación por parte de los consumidores (Mayoral y col., 2005). Según los datos del Panel del Consumo Alimentario que elabora el MAGRAMA, a lo largo de 2011 en España se consumieron, dentro de los hogares, 493.487 toneladas de carne fresca de cerdo y 560.439 toneladas de productos elaborados derivados de esta carne (MAGRAMA, 2012). Por otra parte, el 70,9% de las exportaciones españolas de carne de porcino hacia la Unión Europea han sido de carne fresca refrigerada o congelada (MAGRAMA, 2012). Buena parte del incremento del consumo de estos productos se debe a las empresas de restauración, pues precisamente en las cartas de los restaurantes de alto nivel culinario y categoría es donde aparecen estas carnes menos conocidas hasta ahora, que son muy valoradas por su alta calidad gastronómica.

En este mismo sentido, desde hace ya tiempo se veía como una opción de futuro la comercialización del cerdo de primor, o lo que es lo mismo, de un cerdo ibérico de menor peso, alrededor de los 80-90 kg, destinado al consumo en fresco. Han tenido que pasar casi cuatro décadas para que esta idea comience a ser realidad y empiece a ser aceptado este producto por parte del consumidor. Esta carne está ganando adeptos, principalmente, porque al tener mayor cantidad de grasa

intramuscular que la del cerdo blanco, mejora los atributos de palatabilidad (Mayoral y col., 2005).

Extremadura es una región con gran tradición tanto en la cría como en la elaboración de productos derivados del cerdo Ibérico. Hasta hace poco, la transformación de los productos derivados se hacía a pequeña escala y en un entorno localista, e incluso familiar, pues la mayor parte de los animales se exportaban a otras regiones especializadas, en mayor medida, en la elaboración de los productos curados en grandes industrias. Sin embargo, debido al incremento del consumo de la carne fresca, las piezas que hasta hace poco se utilizaban únicamente en la elaboración de embutidos y que reciben distintas denominaciones en cada provincia, comarca e incluso pueblo, por haber surgido de la cultura popular, están siendo comercializadas en fresco e incorporándose a la restauración (Mayoral y col., 2003).

Las principales piezas comerciales resultantes del despiece de la canal porcina Ibérica son las que se enumeran a continuación según su orden de obtención: Espinazo, Solomillo, Pico o Punta de costilla, Costillar, Lomo, Pluma y Punta de Lomo, Lagarto, Cabezada de lomo, Presa entraña, Panceta y Tocino, Paleta, Jamón, Secreto, Papada y Pico de papada, Falso secreto, Castañuela, Carrillada, Careta (Jeta u Hocico) y Sorpresa (Mayoral y col., 2003). En cuanto a las características de estas piezas, se trata de carnes muy infiltradas y jugosas procedentes de diferentes partes del cerdo, siendo las más valiosas las siguientes:

- **Presa ibérica o Presa de entraña:** Su peso aproximado es de unos 600 gramos. Muy infiltrada, tierna y jugosa, es de las carnes más apreciadas del ibérico. Corresponde al músculo *Serratus ventralis*, que se encuentra en la espalda del animal situado bajo la pala de la paletilla, adosada en la escápula, forma parte del cabecero de lomo. Es la pieza más veteadada de grasa intramuscular, con aspecto marmóreo y morfología en forma de abanico.

En la cara lateral los músculos están cubiertos por su fascia, excepto en la zona dorsal, cuya superficie destaca cortada irregularmente, pues se corresponde con la separación de la pieza de la cara medial de la escápula y su cartílago. A esta cara también pueden quedar adheridos otros músculos, como los escalenos. Por el contrario, su cara medial (figura I.1.) es irregular debido a la grasa intermuscular que se acumula entre las inserciones en las costillas y vértebras cervicales de los músculos serratos ventrales (Mayoral y col., 2003).



Figura I.1.- Presa ibérica, (Fuente: elaboración propia)

- **Pluma ibérica:** se trata de una carne tierna y jugosa del músculo *Spinalis dorsi*, situado junto a la parte más delgada del lomo con 250 a 300 g. Anatómicamente está formada por el músculo romboides torácico. Es una pieza bien engrasada con muy buen sabor. En el despiece actual se extraen junto a la cinta de lomo en su porción anterior.

Su morfología es irregular, algo alargada y triangular. Por su cara medial es una pieza lisa y algo más tendinosa que por su cara lateral (figura I.2.) (Mayoral y col., 2003).



Figura I.2.- Pluma ibérica, (Fuente: Gómez-Nieves y col., 2005)

- **Secreto ibérico:** Es el corte más infiltrado y jugoso del cerdo, bastante graso. Está compuesto por parte de los músculos *Latissimus dorsi* y *Trapezius*. Es una de las presas del cerdo ibérico cuyo consumo como producto fresco ha desbordado todas las previsiones en los últimos años. Forma parte del extremo superior de la falda y se halla también próximo al cabecero de lomo. Se trata de una pieza grande y aplanada, en forma de abanico, que en el despiece tradicional va unido al “tocino de lomo” u “hoja de tocino”. Está compuesto por fibras musculares y grasa entreverada,

forma un filete de unos 150 a 200 gramos. También se conoce como cruceta de Ibérico.

Se prepara seccionando la parte tendinosa de su inserción en el tubérculo del músculo redondo mayor en la cara medial del húmero. Se presenta más o menos recortada la porción correspondiente a dicha inserción, puesto que formará parte de la paleta. También requiere la limpieza de la grasa que cubre ambas caras del músculo pero siempre queda algo en su constitución que le da ese aspecto “veteado” típico (figura I.3.) (Mayoral y col., 2003).



Figura I.3.- Secreto ibérico, (Fuente: Gómez-Nieves y col., 2005)

- **Engaño:** También conocido como “falso secreto”, se localiza en la musculatura cutánea lateroventral del cuello, situada bajo la panceta en el extremo superior de la falda. El nombre de esta pieza cárnica se debe a que, una vez preparada, presenta una morfología parecida a la del secreto. Es una pieza irregular, plana, y con un importante veteado (figura I.4).

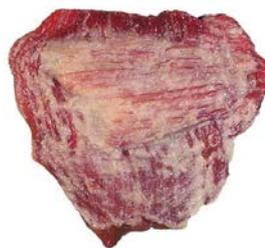


Figura I.4.- Engaño o “falso secreto” (Fuente: Gómez-Nieves y col., 2005)

Una gran proporción de la carne de cerdo producida es destinada a la elaboración de productos cárnicos. Según datos del MARM, del total de carne producida en España durante 2009, 3,29 millones de toneladas, el 42% del total producido, fueron destinadas a la producción de elaborados cárnicos (Cruz, 2010b). Esta producción incluye una gran variedad de productos, los más conocidos son el

jamón, la paleta y la caña de lomo, además de los diferentes embutidos crudos curados, como chorizo, salchichón, morcón, etc., y por supuesto en nuestro país, dentro de los productos cárnicos crudos curados, los más valorados son los que provienen del cerdo Ibérico.

La mayor parte de productos ibéricos comercializados en España se refieren a la comercialización de jamones y paletas. Como se aprecia en la figura I.5, el jamón es el producto derivado del cerdo ibérico más importante por volumen de consumo y gasto, representando más de la mitad de las ventas. Le sigue en nivel de importancia comercial la paleta, aunque por kilos, ya que el chorizo se consume más.

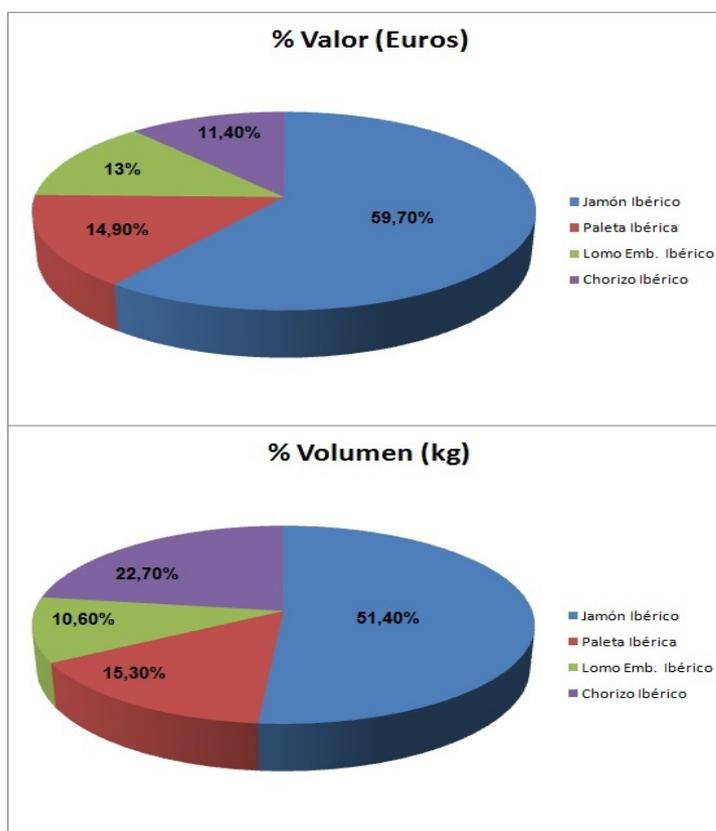


Figura I.5 - Importancia de los productos ibéricos por valor y volumen. (Fuente: MAGRAMA, 2008)

El consumo de Ibéricos en 2008 alcanzó los 38 millones de kilogramos, obteniendo los tres últimos meses del año, el triple de consumo que los meses precedentes. En general todas las variedades de Ibéricos tuvieron un mayor consumo en el último trimestre del año, aunque en el caso del jamón el aumento fue más significativo. El jamón Ibérico estuvo presente en el 5% de los hogares a lo largo del año, alcanzando una presencia aún mayor en el mes de Diciembre (un 8%), superado por el Chorizo Ibérico. Este estuvo presente en el 8% de hogares a lo largo del año, por lo que fue la variedad con un mayor número de consumidores. Además, en el mes de Diciembre este porcentaje se duplicó, alcanzando la presencia de este producto, el 16% de los hogares.

Desde un punto de vista tecnológico, la denominación de embutido seco o curado engloba un determinado grupo de embutidos conocidos desde hace mucho tiempo atrás. La gran variedad que presentan se debe a los diferentes procesos de elaboración, entre los que cabe destacar dos avances tecnológicos:

- El desarrollo de la técnica de climatización que posibilita un control de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire durante la elaboración del embutido en cualquier época del año.
- La utilización de diversas sustancias o aditivos químicos y microbianos para la elaboración de embutidos (colorantes, aromatizantes y saborizantes, reguladores del potencial redox, cultivos iniciadores, etc.) que favorecen la aplicación de técnicas rápidas de fabricación.

La importancia económica de los productos curados dentro del sector cárnico español y la incorporación de España a la U.E. en el 1986, hicieron necesario la elaboración de una clasificación y tipificación, fundamentalmente de los embutidos curados típicos españoles. Así, los derivados cárnicos son productos alimentarios preparados total o parcialmente con carnes, despojos, grasas y subproductos comestibles, procedentes de animales de abasto u otras especies y, en su caso, de ingredientes de origen vegetal o animal, así como condimentos, especias y aditivos, siempre que estén autorizados y se ajusten a las normas específicas de calidad (BOE, 1984).

Los embutidos crudos curados son productos elaborados mediante el troceado o picado de carnes y grasas, con o sin despojos, a las que se incorporan especias, aditivos y condimentos autorizados, sometiénolos a un proceso de maduración

(secado) apropiado y, opcionalmente, ahumado. Cuando su fabricación depende de la acción de microorganismos (adicionados en forma de cultivos iniciadores y/o presentes en las materias primas) estos productos se denominan también embutidos fermentados. Las fases del proceso de elaboración de embutidos son las siguientes:

1. Picado y amasado de la mezcla, la cual se deja en reposo 24 horas a 4°C.
2. Fase de fermentación, que se lleva cabo en secaderos, a 22-27°C, con humedad relativa del 90%. En esta fase se produce una reducción de los nitratos durante las 24 primeras horas, llevada a cabo por bacterias de la familia Micrococcaceae, así como la fermentación de los azúcares, producida por bacterias lácticas homofermentativas (principalmente *Lactobacillus curvatus*, *Lb. plantarum*, *Lb. sake*, *Pedicoccus acidilactici* y *P. Pentosoceus*). Se produce una disminución del pH gracias a la producción de ácido láctico a partir de los azúcares presentes.
3. Fase de maduración, en secaderos a 12-14°C, con humedad relativa del 75-85%. Durante esta fase se lleva a cabo una deshidratación del producto y la hidrólisis enzimática de proteínas y lípidos, a partir de la cual se originan los compuestos responsables del sabor y aroma.

Podemos diferenciar 5 tipos diferentes de embutidos fermentados en función del origen de las carnes y del grado de maduración-secado:

Lomo: producto elaborado con el músculo *Longissimus dorsi*, embutido en tripa gruesa tras añadirle sal y otras especias como pimentón, orégano, ajo, aceite o manteca. Según su elaboración y procedencia puede llevar denominaciones como: en vela, caña, adobado, embuchado, etc. Para su elaboración, la pieza completa del lomo, totalmente limpia y desprovista de grasa, se mantiene durante uno o dos días a una temperatura inferior a 3°C. Posteriormente se adoba durante 48 horas con sal, pimentón, y las demás especias y condimentos citados anteriormente. A continuación, es embutido en tripa natural y se cura en secaderos durante tres o cuatro meses. Su color exterior es rojo claro, y el interior rojo vivo, ofreciendo al corte un aspecto marmóreo debido a la infiltración grasa procedente de la bellota.

Morcón: su origen está en Extremadura y se compone de carne y panceta de cerdo ibérico a las que se suma sal, pimentón, pimienta y ajo. Se conserva embutido en la tripa del ciego del cerdo. Su elaboración es similar a la del chorizo, aunque las porciones de magro tienen un mayor tamaño. Se adoba generalmente con pimentón

dulce, ajo y sal. Su nombre se deriva de la tripa que lo envuelve y que le proporciona su forma irregular característica. Al tratarse de una pieza más gruesa, su proceso de curación y maduración se alarga considerablemente.

Chorizo: es uno de los productos más tradicionales y tiene tres categorías: extra, compuesto por un 80-90% de carne y 10-20% de grasa; primera, para el compuesto por un 60-75% de carne y segunda para aquellos compuestos por un 25-60% de carne de cerdo ibérico. Es un producto genuinamente español que se caracteriza por el uso del pimentón y el ajo como base de su condimentación y por tanto por su coloración roja, a excepción de los denominados chorizos blancos. El proceso tradicional de su elaboración se inicia con el picado de las carnes magras y el tocino, junto con el resto de los condimentos, para obtener una masa homogénea y uniforme. Además del ajo y el pimentón ya mencionados, se añaden según las distintas tradiciones locales, orégano u otras especias y, en ocasiones, vino blanco o jerez seco. La masa se deja en reposo durante uno o dos días en sitio fresco y, a continuación, se introduce en tripa natural o artificial. El proceso de curación en los secaderos tiene una duración de un mes como mínimo, hasta que se produce la maduración. Los chorizos se pueden presentar en vela (rectos y alargados), en ristra (pequeños chorizos atados entre sí) y en sarta (en forma de herradura o uve).

Salchichón: su elaboración es semejante a la del chorizo, pero en su condimentación no interviene el pimentón, sazonándose con sal y pimienta, y en algunos casos, con nuez moscada rallada y unos granos de cilantro. Al igual que en el caso del chorizo, está dividido en categorías dependiendo de la cantidad de carne que se le añade a la elaboración.

Otros productos que se elaboran a partir de la carne de cerdo ibérico son la morcilla, longaniza o el farinato de Salamanca.

Todos estos embutidos se han elaborado durante muchos años de forma artesanal y por tanto, han estado sujetos a problemas de producción derivados de la falta de conocimiento científico. Durante los últimos años, la biotecnología de alimentos se ha especializado en la adaptación de los procesos tradicionales para la producción industrial a gran escala. Los microorganismos competitivos típicos de los procesos modernos han sido aislados y desarrollados como cultivos iniciadores, por su poder fermentador y acidificante; esto ha permitido a la industria satisfacer la creciente demanda de los consumidores de productos seguros con unos costes asequibles., aunque a veces, los cultivos iniciadores que existen en el mercado no son los más

apropiados para la fabricación de embutidos crudos curados, ya que en estos productos es necesario conservar las variedades regionales y las características organolépticas y sensoriales típicas (Martín Juárez, 2005).

I.4.- Sistemas de conservación de la carne y productos cárnicos

I.4.1.- Congelación.

I.4.1.1.- El proceso de la congelación en el tejido muscular

La congelación es un proceso mediante el cual la temperatura del alimento se reduce hasta que parte del agua presente cristaliza en forma de hielo. Se trata de uno de los medios más antiguos y más comúnmente usados para la preservación de alimentos, ya desde la época del Paleolítico y Neolítico mediante la utilización de hielo y nieve. En España, no fue hasta el siglo XVI cuando se conoció el efecto refrigerante de la sal y el hielo (Evans, 2008) Durante la revolución industrial, la tecnología de la refrigeración se desarrolló rápidamente y comenzó la utilización de equipos de aire frío para el transporte de carne, aunque no fue hasta después de la I Guerra Mundial cuando la maquinaria de refrigeración experimentó un desarrollo masivo para mejorar su fiabilidad y eficiencia. En 1928 la refrigeración cambió para siempre cuando se descubrieron los Clorofluorocarbonos (CFCs o Freones) que comenzaron a utilizarse como fluidos refrigerantes. Los avances en la tecnología de congelación se desarrollaron rápidamente en la última mitad del siglo XX, lo cual ha provocado que a finales del siglo XX el mercado de los alimentos congelados se haya visto incrementado en aproximadamente un 10% por año con aproximadamente el 25% de los alimentos refrigerados que ahora se comercializan, congelados (Evans, 2008).

La congelación suprime el agua de la matriz de los alimentos mediante su transformación en cristales de hielo. La congelación de los alimentos empieza cuando estos entran en contacto con un medio frío, el cual puede ser sólido, por ejemplo placas intercambiadoras de calor de -30 a -40°C, dióxido de carbono sólido (hielo seco) a -78,5°C, líquido (inmersión en una mezcla enfriadora o fluido criogénico como nitrógeno líquido a -196°C) o gas (una corriente de aire, nitrógeno gaseoso o CO₂). La temperatura en la superficie del alimento comienza a mostrar “supercooling” (figura I.6), punto A (t_1, T_S)), es decir, un subenfriamiento que puede alcanzar los 10°C por debajo del punto de congelación, y que es la fuerza impulsora de la nucleación y un parámetro importante que controla el tamaño y el número de cristales de hielo (Chevalier y col., 2001). A continuación, la temperatura del alimento aumenta

momentáneamente hasta aproximadamente la temperatura de congelación inicial, T_f , y después continúa más o menos constante (figura I.6, tramo B-C). Los primeros cristales de hielo se forman entre A y B, y continúan formándose hasta llegar a la temperatura final T_e donde la temperatura del alimento se equilibra con la temperatura del medio frío. Si la velocidad de congelación es lenta, debido a la disminución de la temperatura, el fluido extracelular superenfriado alcanza un punto de congelación inicial en que separa agua de soluto formando cristales de hielo fuera de las células. Al mismo tiempo, se produce un aumento de la concentración de solutos (proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales) en el fluido extracelular, lo cual hace que salga agua del interior de la célula por ósmosis (Chevalier y col., 2001) y se sigan formando cristales de hielo de gran tamaño únicamente fuera de las células, los cuales causan daños de textura, aceleran la actividad enzimática y aumentan las tasas de oxidación durante el almacenamiento y después de la descongelación (Alizadeh y col., 2007). Por el contrario, una velocidad de congelación rápida, produce muchos núcleos de hielo extra- e intracelulares. La consecuencia de la formación de cristales de hielo es el daño físico que se produce en la estructura de los tejidos, y que continúa a lo largo de almacenamiento en congelación y durante la descongelación debido a una continua recristalización (Ballin y Lametsch, 2008).

La formación de un cristal de hielo requiere en primer lugar de una nucleación, que es la combinación de moléculas dentro de una partícula ordenada de tamaño suficiente para sobrevivir, y a continuación, se lleva a cabo la etapa de crecimiento de los cristales, por adición de moléculas en la interfase sólido-fluido (Evans, 2008).

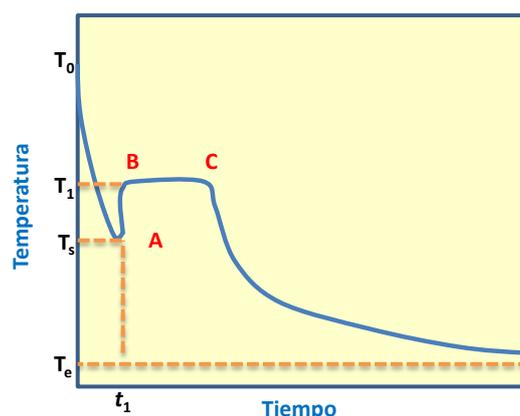


Figura I.6.- Curva de temperatura de congelación en alimentos. Muestra la temperatura inicial (T_0), la temperatura de congelación inicial (T_f), temperatura de super-enfriamiento (T_s) y temperatura de equilibrio (T_e). (Fuente: Evans, 2008)

El objetivo de la congelación es ralentizar o prevenir los cambios que se producen post-mortem, los cuales pueden afectar negativamente a la seguridad microbiológica, la calidad sensorial y el valor nutricional, sin embargo se produce rotura celular y destrucción de la fibra muscular debido a la formación de cristales de hielo (Sebranek, 1982). Es importante señalar que los efectos de la congelación en la calidad de la carne congelada después de descongelar dependen de las características de la carne en sí misma (Vieira y col., 2009), es decir, de su composición química debido a diferencias en la estabilidad del color, la solubilidad de las proteínas sarcoplasmáticas y la oxidación de la grasa (Farouk & Weliczko, 2003; Zhang y col., 2005).

1.4.1.2.- Sistemas de congelación

La carne puede ser congelada a través de distintos sistemas, siendo el aire el método más utilizado en la congelación de alimentos, ya que es económico, higiénico y relativamente no corrosivo en cuanto a los equipamientos. Los sistemas de congelación por aire son los siguientes:

- **Túneles de congelación.** Son cámaras de congelación con sistemas de impulsión de aire frío a velocidades altas y serpentines para refrigeración para conseguir una importante velocidad de congelación (ver apartado III.1.1 del Material y Métodos). La velocidad de congelación en estos equipos oscila entre 0.5 y 0.3 cm/h. Se utilizan bandejas o carros para sustentar o disponer el producto dejando espacios para que circule el aire. Estos equipos pueden funcionar en forma discontinua, donde el producto se coloca en bandejas fijas; o de manera continua, donde las bandejas atraviesan el túnel. Son versátiles y se adaptan a productos de múltiples formas y tamaños, envasados o no (aunque es preferible que estén protegidos para evitar daños por frío, pérdida de peso y adherencia a las bandejas).
- **Congeladores de cinta.** Son sistemas continuos. En general se utilizan con temperaturas entre -18 y -35 °C y velocidades que no superen los 20 m/s.
- **Lecho Fluidizado.** El sistema se basa en un flujo de aire frío que congela las partículas de alimento en forma individual rápidamente (“individually quick freezing – IQF”). El producto es congelado y transportado a la vez. Es adecuado para alimentos de tamaño pequeño y uniforme, y se utiliza mucho en productos con problemas de adhesión o que son pegajosos.

En la práctica, la distribución del aire es el mayor problema, ya que el tiempo de congelación disminuye a medida que aumenta la velocidad del aire.

En cuanto a los sistemas de congelación por contacto, hay dos tipos, mediante contacto directo o inmersión del producto en un líquido refrigerante (salmuera, agua más solutos no tóxicos, etc.), y por contacto indirecto, donde la transferencia de calor se produce por conducción, ya que el producto es colocado entre placas a través de las cuales circula el refrigerante.

Por otra parte, encontramos los sistemas de congelación criogénica, donde no hay conexión a un sistema frigorífico, sino que se utiliza un refrigerante como método de refrigeración. Los fluidos utilizados son el nitrógeno o el dióxido de carbono líquidos. Este último en general se utiliza a una temperatura de $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$ para congelar muy rápidamente productos húmedos y pegajosos. En cuanto a la utilización del nitrógeno puede provocar agrietamientos, ya que se forma una coraza superficial de cristales muy pequeños.. El tiempo de congelación con el nitrógeno líquido es menor que con el CO_2 . Mediante la utilización de fluidos criogénicos se alcanzan velocidades entre 10 y 100 cm/hr (congelación ultra rápida).

Por último, encontramos el sistema de congelación por alta presión, donde la congelación viene dada por un cambio en la presión. Si bien los tiempos son bastante mayores que en los métodos convencionales, tanto en la superficie (20 minutos) como en el centro del producto (50 minutos), se consiguen tamaños de cristales de hielo muy pequeños. El agua contenida en los alimentos se enfría bajo presión, por lo que se mantiene líquida; una vez que se ha alcanzado la temperatura deseada en todo el volumen del alimento (subenfriamiento), se realiza una expansión hasta la presión atmosférica, la cual puede ser rápida o lenta. Así, un porcentaje del agua se cristaliza de manera instantánea y uniforme, formando núcleos de hielo en todo el volumen; el resto del líquido, que quedó sin congelar, lo hace más lentamente y se adhiere a los núcleos, generando de ésta manera cristales de forma granular y de menor tamaño que en los métodos convencionales.

1.4.1.3.- Efecto de la congelación sobre la calidad de la carne

La calidad de la carne congelada depende de los procedimientos específicos utilizados para congelar, almacenar y descongelar la carne (Muela y col., 2010). La velocidad de congelación puede afectar a la calidad de la carne (Smith y col., 1968; Berry, 1990; Uttaro & Aalhus, 2007) a través de los cambios estructurales que ocurren

durante la congelación debido a la formación de cristales (nucleación), la cual depende de la temperatura. Una velocidad de congelación rápida ocasiona la formación de núcleos de hielo extra- e intracelulares (Ballin & Lametsch, 2008). Además, el tamaño y forma de los cristales de hielo también depende de la velocidad de congelación; de hecho, una congelación convencional (a -20°C) conduce a la formación de cristales de hielo relativamente largos e irregulares (Zhu y col., 2004), con un aumento en el daño en la estructura de la carne (Devine y col., 1995). Las membranas celulares limitarían el crecimiento de los cristales de hielo intra y extracelularmente llevándose ésta a cabo perpendicular a la dirección de las fibras hasta alcanzar un tamaño crítico a partir del cual se produce deformación y ruptura de la pared celular (Ngapo y col., 1999). El tamaño de los cristales de hielo y su distribución en los espacios intra- o extracelulares de la carne congelada varía según la velocidad de congelación, mientras que la cantidad de hielo formado depende de la temperatura conseguida durante la congelación (Soyer y col., 2010).

Cuando la carne se descongela, los cristales de hielo pueden causar daños físicos en la microestructura de la carne, y además el nivel de exudado generado en el proceso de descongelación es uno de los parámetros de calidad de la carne congelada (Añón & Calvelo, 1980). La velocidad de descongelación también puede influir en la cantidad de agua perdida (Uttaro & Aalhus, 2007), así como el tiempo que la carne ha permanecido congelada (Muela y col., 2010).

Según algunos estudios (Ngapo y col., 1999), el almacenamiento prolongado de la carne de cerdo a temperaturas de congelación hace que se produzca una recristalización del hielo a partir de los pequeños cristales de hielo que se forman durante la congelación rápida, los cuales forman cristales mayores durante el almacenamiento prolongado en congelación, y que no exista diferencia en las pérdidas de agua entre muestras congeladas lentamente y muestras congeladas de forma rápida pero almacenadas durante largos periodos de tiempo. Esto se debe a que la combinación de congelación rápida y almacenamiento prolongado en congelación dificulta la distribución del agua dentro de la carne debido a los daños ocasionados por la congelación, lo cual se traduce en un aumento de las pérdidas por congelación y por cocinado mayor que si se congela a velocidad más lenta y se almacena durante periodos prolongados de tiempo a temperaturas de congelación (Mortensen y col., 2006). Además, según otros autores, largos periodos de almacenamiento en congelación están asociados con mayores daños en las fibras musculares, lo cual

podría permitir un rápido crecimiento microbiológico durante el proceso de descongelación (Farouk & Weliczko, 2003).

Sin embargo y a pesar de todo esto, la congelación es uno de los métodos de conservación más importantes en carne y productos cárnicos, y conlleva una mínima pérdida de la calidad a lo largo del almacenamiento durante largos periodos de tiempo (Soyer y col., 2010).

1.4.1.4.- Efectos de la congelación sobre la estabilidad oxidativa

Los fenómenos oxidativos tienen lugar inmediatamente después del sacrificio (incluso previo al sacrificio), cuando los mecanismos celulares que controlan la oxidación de lípidos dejan de funcionar (Morrissey y col., 1998). Tras el sacrificio, el músculo y demás tejidos animales sufren complejos cambios bioquímicos que pueden producirse a partir de reacciones metabólicas residuales o ser inducidos por el deterioro microbiológico y/o oxidativo. La oxidación lipídica es la mayor forma de deterioro en los alimentos de tipo muscular, aunque también tiene implicaciones positivas como por ejemplo la generación de compuestos volátiles responsables de notas aromáticas agradables. Generalmente se acepta que en la carne y productos cárnicos, la oxidación lipídica predominante tiene lugar por autooxidación, reacción no enzimática que ocurre entre el oxígeno y los compuestos orgánicos. Las reacciones oxidativas en la carne son el factor más importante de pérdida de la calidad, la cual incluye tanto el flavor, como la textura, valor nutritivo y color.

La oxidación se inicia presumiblemente inmediatamente tras el sacrificio del animal, momento en el que se inactivan los sistemas biológicos de protección frente a la oxidación en vivo (cese del flujo sanguíneo, acumulación de ácido láctico en los tejidos, descenso del pH y cese de los mecanismos celulares capaces de controlar los procesos oxidativos) (Morrissey y col., 1996). La oxidación lipídica es inducida por la formación de radicales libres oxi- y/o lipídicos, y desemboca en la generación de compuestos tóxicos tales como el malondialdehído y productos derivados de la oxidación del colesterol (Morrissey y col., 1998). Desde un punto de vista tanto cualitativo como cuantitativo, los fosfolípidos son el grupo de lípidos más importante en carne y productos cárnicos debido a su alta sensibilidad a la oxidación, principalmente por su alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y su estrecho contacto con catalizadores de la oxidación lipídica en la fase acuosa de las células musculares (Ruiz y col., 2009). Cuanto mayor sea el contenido de ácidos grasos

poliinsaturados en la carne, más propensa será esta de sufrir oxidación lipídica durante el almacenamiento en congelación (Soyer y col., 2010).

Los procesos oxidativos están asociados también con la decoloración de la carne, ya que la oxidación lipídica ocasiona la formación de compuestos capaces de reaccionar con la oximioglobina, lo cual conduce a la formación de metamioglobina (Farouk & Swan, 1998; Frankel, 1998), y el mayor contenido de ésta está relacionado con el deterioro del color (Clydesdale, 1998; Liu y col., 1996).

Las fibras musculares contienen además un alto contenido de proteínas, las cuales también pueden verse afectadas por reacciones de oxidación; de hecho, la duración del almacenamiento en congelación tiene un fuerte impacto en la oxidación de proteínas (Soyer y col., 2010). Se ha observado que la oxidación induce numerosos cambios en las proteínas, tales como la modificación de los extremos de las cadenas de aminoácidos, la formación de polímeros de proteínas, la pérdida de solubilidad, el incremento de grupos carbonilo, cambios en la composición de aminoácidos y aumento de la susceptibilidad de sufrir proteólisis (Levine y col., 1990; Xiong, 2000). Los cambios químicos inducidos durante la oxidación proteica por especies radicales de oxígeno son responsables de algunas modificaciones biológicas tales como la solubilidad de las proteínas y la fragmentación o agregación proteica (Decker y col., 1993). Existe una gran correlación entre oxidación lipídica y oxidación proteica, ya que los productos primarios (hidroperóxidos) y secundarios (aldehídos) de la oxidación lipídica pueden actuar como sustrato de la oxidación proteica, es decir, reaccionan con las proteínas causando la oxidación de éstas (Srinivasan & Hultin, 1995; Mercier y col., 1998; Renner y col., 1999; Soyer & Hultin, 2000; Baron y col., 2007; Eymard y col., 2009; Soyer y col. 2010).

1.4.1.5.- Efectos de la congelación sobre la textura

En el caso de la carne, la textura corresponde esencialmente a sensaciones de jugosidad y ternura, que son evaluadas ya sea mediante técnicas instrumentales o mediante análisis sensorial. La ternura y jugosidad de la carne se deben fundamentalmente a las propiedades de las proteínas del tejido muscular y del tejido conjuntivo, y de cómo evolucionan (Genot, 2000).

La carne, antes de sufrir el *rigor mortis*, posee una mayor capacidad de retención de agua. Sin embargo, habitualmente se congela la carne tras el desarrollo de la rigidez cadavérica, es decir, tras un tiempo de maduración que varía según la especie considerada, ya que la congelación precoz (antes de la rigidez cadavérica) de

canales o de músculos deshuesados en caliente, puede provocar contracciones musculares irreversibles durante el enfriamiento posterior (acortamiento por frío) o durante la descongelación (rigidez de la descongelación). La rigidez de la descongelación puede traducirse en un acortamiento muy marcado del músculo ya faenado (hasta un 40% de la longitud inicial), un importante endurecimiento de la carne, una disminución de la capacidad de retención de agua y de la solubilidad y el poder de unión de las proteínas (Genot, 2000).

Como se ha comentado, el tamaño y la localización de los cristales de hielo son los factores más importantes que afectan a la calidad de la carne congelada (Shanks y col., 2002; Martino y col., 1998). La concentración de los solutos en el transcurso de la congelación puede provocar modificaciones en la estructura de las proteínas musculares y de sus propiedades, y en consecuencia contribuir a modificar la calidad de la carne (jugosidad y textura), ya que se puede producir desnaturalización de éstas o su agregación debido al aumento de la hidrofobicidad superficial (Careche y col., 1998).

En la mayoría de los casos, la congelación provoca un ligero aumento de la ternura de la carne debido a la rotura de las fibras musculares causada por la actividad enzimática y la formación de cristales de hielo (Shanks y col., 2002; Vieira y col., 2009). Sin embargo, en el caso de los efectos sobre la jugosidad, Vieira y col. (2009) vieron que el efecto de la congelación era muy débil.

La textura de la carne está influida también por los procesos de oxidación proteica, ya que estos a menudo se asocian con cambios en la solubilidad y funcionabilidad de las proteínas, por ejemplo en sus propiedades de gelificación y emulsificación, o con pérdida de la capacidad de retención de agua. Las consecuencias de la oxidación proteica son principalmente el deterioro de la ternura y jugosidad de la carne (Lund y col., 2011; Ganhão y col., 2010).

1.4.1.6.- Efectos de la congelación sobre el color

El color y el aspecto de la carne son los principales factores que determinan su compra o rechazo por parte del consumidor. El deterioro del color es una de las razones más importantes en la pérdida de calidad de la carne y contribuye al desarrollo de características organolépticas indeseables lo cual es más importante en la carne almacenada en congelación que el deterioro microbiológico, ya que éste no suele ser una preocupación (Frankel, 1998). Según el tamaño de los cristales de hielo

formados durante la congelación, la luz se reflejará más o menos en la superficie de las piezas de carne congelada. Las muestras de carne congelada y descongelada muestran menos "luminosidad" y mayor decoloración que las muestras de carne fresca almacenadas, y además estos cambios de coloración son más significativos a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento (Vieira y col., 2009). La carne congelada lentamente y posteriormente descongelada presenta mayor decoloración que la carne congelada rápidamente, debido a las diferencias en las pérdidas por goteo durante la descongelación, ya que pueden dar lugar a una mayor reflexión de la luz y un color más claro en la carne lentamente congelada y descongelada (Farouk y col., 2003).

El pardeamiento de la carne durante su conservación se debe a la oxidación de la mioglobina oxigenada u oximioglobina (OMb), de color rojo vivo, a mioglobina oxidada o metamioglobina (MMb), de color pardo. El deterioro del color por tanto está relacionado con un mayor contenido de metamioglobina y con mayores valores en los parámetros colorimétricos que indican decoloración (Liu y col., 1996; Clydesdale, 1998;). La estabilidad de la mioglobina en el tejido muscular depende de la especie animal, las características bioquímicas del músculo y de algunos parámetros externos como la presión parcial de oxígeno y la temperatura. Entre las características bioquímicas, el tipo metabólico de las fibras musculares y el pH son los parámetros más importantes.

La oxidación de la oximioglobina en la superficie de la carne es el resultado de procesos de degradación fotoquímica y térmica. En la carne congelada, la autooxidación de la mioglobina se retrasa considerablemente y la fotooxidación puede transformarse en el mayor problema. Sin embargo, tras la descongelación, la carne puede recuperar un color similar al de la carne fresca, ya que la mioglobina puede recuperar su conformación natural (Fernández y col., 2007).

1.4.1.7.- Efectos de la congelación sobre la calidad higiénica

La conservación de los alimentos mediante la congelación produce la inhibición del crecimiento de los microorganismos. A -10°C todo crecimiento bacteriano se paraliza, incluso las bacterias psicrotrofas y psicrófilas. A -12°C los mohos dejan de multiplicarse, y a -18°C las levaduras (Genot, 2000). La congelación disminuye la viabilidad de algunas bacterias, lo cual es atribuido a la formación de cristales de hielo y por tanto disminución de la cantidad de agua disponible y de su actividad (Georgsson y col., 2006). El nivel de destrucción de microorganismos depende de la velocidad de congelación, del tiempo y de la temperatura de conservación, de la

naturaleza del producto, el microorganismo considerado y de su estado de crecimiento (Genot, 2000).

Además, incluso cuando la viabilidad celular se ve afectada, algunas enzimas como las lipasas y algunas proteasas pueden continuar actuando, y en consecuencia producir alteraciones del producto (Genot, 2000).

Las esporas bacterianas son extremadamente resistentes a los efectos de la congelación (Lund, 2000), al igual que las bacterias Gram-positivas y en su conjunto los microorganismos patógenos, que resisten más la congelación que los microorganismos en fase de crecimiento y las bacterias Gram-negativas (Genot, 2000). En estudios llevados a cabo por Lund (2000) sobre la sensibilidad de *Staphylococcus aureus* a la congelación en diferentes matrices de alimentos tales como leche entera, carne picada de ternera y carne de pollo y ternera congeladas se observa que, en general, cuando estos alimentos son congelados y almacenados a temperaturas entre -18°C y -22°C se produce una reducción de aproximadamente 1 ciclo logarítmico del número de unidades formadoras de colonias de *S. aureus* tras varios meses almacenados en congelación. Otros estudios sobre la susceptibilidad de las células vegetativas de *Clostridium perfringens* a la congelación, sugieren que la matriz de congelación es importante en la supervivencia o muerte de estas células. Por lo tanto, aunque estas dos bacterias Gram-positivas son relativamente resistentes a la congelación, parece que el pH puede afectar al grado de letalidad, y que las matrices de alimentos pueden influir en el grado de susceptibilidad de los microorganismos a la congelación (Archer, 2004).

Las bacterias Gram-negativas son más susceptibles a la congelación que las Gram-positivas, aunque algunos microorganismos pueden sobrevivir bien en alimentos congelados, según la naturaleza de los alimentos. Así por ejemplo, *Salmonella* spp. es conocida por su tolerancia a la congelación (Archer, 2004).

En la carne, son los recuentos de bacterias entéricas los que reflejan en general su estado higiénico, el cual viene determinado por la manipulación que haya sufrido la carcasa, el tiempo que haya permanecido en congelación o refrigeración y el control de dicha temperatura (Vieira y col., 2009). Además, largos periodos de almacenamiento en congelación están relacionados con mayores daños en las fibras musculares, lo cual podría permitir un crecimiento microbiano más rápido durante la descongelación (Farouk & Weliczko, 2003).

La descongelación representa una etapa particularmente crítica con respecto a la calidad higiénica de los productos porque la exudación en superficie de las carnes descongeladas favorece el crecimiento microbiano. Además, aunque el efecto de la temperatura impide la multiplicación microbiana, es importante evitar la contaminación de los productos, ya que la contaminación microbiológica constituye en efecto, un riesgo sanitario mayor en caso de ruptura de la cadena de frío y durante la descongelación (Genot, 2000).

I.4.2.- Envasado en atmósferas modificadas (EAM)

El envasado en atmósferas modificadas (EAM) puede definirse como el almacenamiento de un producto en material barrera herméticamente cerrado, donde se ha evacuado el aire (envasado al vacío o envasado al vacío “segunda piel”) o sustituido por un gas o mezcla de gases (Garriga, 1996). En este último caso se diferencian dos tipos de atmósferas protectoras:

- Atmósfera controlada, si se inyecta un gas/mezcla de gases tras la eliminación del aire y se somete a un control constante durante el periodo de almacenamiento para mantener estable la atmósfera de gases y otras condiciones tales como temperatura y humedad dentro del envase (McMillin, 2008).
- Atmósfera modificada, cuando se extrae el aire del envase y se introduce, a continuación, una atmósfera creada artificialmente cuya composición no puede controlarse a lo largo del tiempo (García Iglesias y col., 2006; McMillin, 2008).

En cuanto al envasado al vacío es el método más sencillo de modificar la atmósfera en el interior de un envase ya que supone únicamente la eliminación del aire y el sellado del envase, aunque en el caso de tejidos animales y vegetales, la baja permeabilidad de las películas y la respiración tisular y microbiana determinan que al cabo de cierto tiempo el oxígeno residual sea sustituido por CO₂. En el caso de la carne existe lo que se conoce como envasado al vacío “segunda piel”. En éste, el material de envasado se retrae por efecto del calor adaptándose al contorno del producto. De esta forma se evitan las bolsas de aire y arrugas, incrementándose la vida útil y mejorando notablemente su presentación. El sector cárnico fue el primero en aplicar esta tecnología. Así, se emplea para la venta al por mayor de grandes piezas (medias canales, cuartos, etc.) que luego se despiezan y se venden al por menor de forma tradicional o envasadas en atmósferas modificadas (Eilert, 2005). Las ventajas

del envasado al vacío, además de que se trata de un método de envasado sencillo y económico, son que la baja concentración de oxígeno que permanece en el envase tras evacuar el aire inhibe el crecimiento de microorganismos aeróbicos y las reacciones de oxidación, se favorece la retención de los compuestos volátiles responsables del aroma y además impide las quemaduras por frío, así como la formación de cristales de hielo y la deshidratación en la superficie del alimento (García Iglesias y col., 2006).

Aunque ya en los años 30 se transportaba carne fresca en atmósferas modificadas desde Nueva Zelanda a Inglaterra (Brody, 1996), fue en la década de los 50 cuando los carniceros pasaron de envolver los trozos de carne en papel encerado a almacenar éstos en paquetes que eran mostrados en vitrinas refrigeradas de los autoservicios. Las cajas de carne refrigerada e iluminada para que los consumidores pudieran elegir entre los distintos paquetes necesitaron un envasado que protegiese el contenido a la vez que mostraba las características del producto, principalmente el color del magro y el contenido de grasa, durante la exposición diaria. Los plásticos que comenzaron a desarrollar para el envasado de la carne fresca eran cloruros de polivinilo permeables al aire y barrera frente a la humedad. Los consumidores comenzaron a asociar el color rojo brillante de la carne preenvasada en envases permeables al aire con la carne fresca, debido a que éste fue el color visto por primera vez en las cajas de carne expuestas en los autoservicios. Mediados del siglo XX fue también la época en la que comenzó el envasado al vacío de trozos de carne principales y carnes curadas (McMillin, 2008).

El éxito de la aplicación del envasado en atmósfera modificada depende de factores como:

- a. Composición de los gases.
- b. Material del envase (tipo de permeabilidad).
- c. Temperatura de almacenamiento (refrigeración).
- d. Propiedades físico-químicas del producto: actividad de agua, pH...
- e. Equipo de envasado.
- f. Volumen del gas inyectado con respecto al volumen del producto a envasar

1.4.2.1.- Gases utilizados en el EAM

Entre los gases más utilizados están el oxígeno, el dióxido de carbono y el nitrógeno, que ejercen su acción protectora solos o combinados en una proporción distinta a la que presentan en la atmósfera terrestre.

El **oxígeno (O₂)** es un gas incoloro, inodoro e insípido que se obtiene por destilación fraccionada del aire. Se trata de un gas altamente reactivo y comburente, es decir, que favorece las reacciones de combustión. Es uno de los principales agentes alterantes de los alimentos. En la mayoría de los productos envasados en atmósfera protectora el objetivo prioritario es eliminarlo o reducir su concentración hasta el menor valor posible. De este modo, se inhiben las reacciones de oxidación que originan sabores y olores desagradables y el crecimiento de microorganismos patógenos y alterantes que lo necesitan para su actividad metabólica, ya que aunque la presencia de O₂ es importante para mantener el pigmento mioglobina en su forma oxigenada, la oximioglobina, la cual da un color rojo brillante a la carne, es indeseable durante el almacenamiento en largos periodos de tiempo puesto que acorta su vida útil (Martínez y col., 2005).

El **dióxido de carbono (CO₂)** es un gas incoloro e inodoro con un ligero sabor ácido. Se obtiene a partir de fuentes naturales y como subproducto de procesos fermentativos (fabricación de cerveza o vino) o de la producción de amoníaco. Entre los principales gases aplicados en el envasado en atmósfera protectora, el CO₂ es el único con propiedades bacteriostáticas, fungistáticas e insecticidas. La acción inhibitoria del CO₂ sobre el crecimiento de los microorganismos se debe, por una parte, a la disminución del pH que se produce como consecuencia de la combinación del CO₂ con el agua y, por otra su acción sobre el sistema enzimático de las bacterias, causando daños que pueden llegar a ser letales. Para lograr estos efectos su concentración debe estar comprendida entre 20-60% (García Iglesias y col., 2006). Las bacterias Gram-negativas (*Pseudomonas*, Enterobacterias como *Salmonella* o *Escherichia coli*, *Acinetobacter* y *Moraxella*) y los mohos son más sensibles al CO₂ que las Gram-positivas (como *Staphylococcus aureus* y *Brochothrix*) y las levaduras, a las cuales también afecta aunque en menor medida. En cambio, favorece el desarrollo de otros microorganismos como las bacterias ácido-lácticas (Rubio y col., 2006; Church, 1994).

El dióxido de carbono es un compuesto soluble en agua y en grasa, siendo incluso más soluble en grasa insaturada que en grasa saturada, probablemente debido

a que la insaturada es más líquida (Sivertsvik y col., 2004). Esta propiedad se incrementa a baja temperatura por lo que su eficacia es mayor en productos refrigerados. Cuando se produce una disolución excesiva del mismo en el alimento pueden desencadenarse dos fenómenos negativos: el colapso del envase y la formación de exudado. El primero consiste en la retracción del material de envasado debido al descenso de la presión que ejerce el CO₂ en el interior del paquete. El exudado se origina por la pérdida de la capacidad de retención de agua de las proteínas. La absorción del CO₂ por la carne y productos cárnicos da lugar a la formación de ácido carbónico que se descompone rápidamente reduciendo el pH del medio (Bruce y col., 1996, Dixon y col., 1989). Esto conlleva la desnaturalización de las proteínas y la pérdida de su capacidad para retener el agua en los tejidos (Tornadijo y col., 2004), así como un incremento en la oxidación de los lípidos (Martínez y col., 2005). Con respecto al color, algunos autores han identificado un efecto negativo del CO₂ sobre el color ya que niveles de CO₂ superiores al 60% promueven la oxidación de mioglobina (Martínez y col., 2005).

El **nitrógeno (N₂)** es un gas incoloro, inodoro e insípido que se obtiene por destilación fraccionada del aire al igual que el oxígeno. Es un compuesto inerte, es decir, que no reacciona químicamente con otras sustancias y presenta además una solubilidad muy baja en agua o grasa. Su función en el envasado en atmósfera modificada es desplazar el oxígeno del interior del envase y así ralentizar la rancidez oxidativa y la autooxidación lipídica de la carne e inhibir el crecimiento de microorganismos aerobios (García-Esteba y col., 2004). También actúa como gas de relleno ya que previene el colapso del envase cuando tiene lugar una disolución excesiva de dióxido de carbono en los tejidos del alimento (García Gimeno y col., 1995; García Iglesias y col., 2006).

Además de O₂, CO₂ y N₂ se están comenzando a utilizar otros gases de características muy interesantes para la conservación de alimentos en atmósferas protectoras. Cabe destacar el monóxido de carbono y el argón en el envasado de la carne en atmósferas modificadas.

El **monóxido de carbono (CO)** se ha utilizado de forma muy efectiva para el mantenimiento del color de la carne fresca debido a la formación de carboximioglobina (Fernández-López y col., 2008; Martínez y col., 2005). La pérdida del color rojo brillante de la carne está relacionado con la conversión de la oximioglobina a metamioglobina, fenómeno que puede ser contrarrestado por la incorporación de

monóxido de carbono a la mezcla de gases del envasado ya que éste combina con el Fe de la molécula de mioglobina para formar carboximioglobina que es más estable a la oxidación que la oximioglobina y proporciona un atractivo color rojo cereza a la carne (European Commission, 2001).

Algunos autores atribuyen una actividad antioxidante al CO, pero sólo se ha demostrado con concentraciones superiores a 0,25% (Luño y col., 2000).

Desde el punto de vista higiénico, el CO ejerce un reducido efecto sobre los microorganismos (Parry, 1995; Pérez Mateos & Borderias, 1997).

Sin embargo, el uso de CO en el envasado de la carne no ha sido aprobado por las agencias reguladoras debido a razones de seguridad; su utilización ha estado muy extendida en Noruega desde 1985, normalmente en concentraciones de 0,4%, (Sørheim y col., 1997) pero tras 19 años de aplicación con éxito, el uso del monóxido de carbono se suspendió en julio de 2004 debido a la presión de los socios comerciales europeos (Wilkinson y col., 2006). La acción tóxica del CO se debe a la obstrucción de la función portadora de oxígeno de la hemoglobina a través de la formación de carboxihemoglobina (HbCO) en lugar de oxihemoglobina (HbO₂). La unión del CO a la hemoglobina es reversible, con una vida media de aproximadamente 4,5 h en los individuos en reposo (European Commission, 2001). Una pequeña cantidad de CO se forma naturalmente en el cuerpo humano debido a la ruptura de las hemoproteínas. Dicha producción lleva a una concentración de HbCO de alrededor del 0,5% del total de la hemoglobina. El promedio de la concentración de HbCO en las personas no fumadoras es de 1.2-1.5% y en los fumadores la concentración está en torno a 3-4% (Aunan, 1992). En Estados Unidos, el CO se viene utilizando ya desde hace años. Además, diversos estudios demuestran que el CO es totalmente seguro para el consumo humano (Eilert, 2005). Sørheim y col. (1999), utilizando una mezcla con 0.3–0.4% CO, determinaron que niveles de hasta 0.5% de CO no suponen un riesgo para la salud. Según estos mismos autores, el consumo de carne envasada con CO, resulta en cantidades despreciables de carboxihemoglobina en la sangre, por lo que es muy improbable que el uso de CO en el envasado de la carne suponga una amenaza para el consumidor (Sørheim y col., 1997).

El Comité Científico de Alimentación de la Unión Europea llegó a la conclusión en el informe publicado en 2001 de que no hay problemas para la salud asociados con el uso en las atmósferas de un 0,3%-0,5% de CO en una mezcla de gases con CO₂ y N₂ para el envasado de carne fresca siempre y cuando la temperatura de

almacenamiento y transporte no exceda de 4 °C. No obstante, el Comité señaló que, en el caso de los productos almacenados bajo condiciones inadecuadas, la presencia de CO podría enmascarar visualmente la alteración de la carne.

En cuanto al **argón**, existen pocos estudios sobre sus características y el efecto que ejerce en la vida útil de productos cárnicos (Parra y col., 2012; Parra y col., 2010; Ruiz-Capillas, 2010). Sin embargo, aunque este gas se ha considerado como completamente inerte, algunas investigaciones sugieren que es bioquímicamente activo debido probablemente a que es bastante más soluble en agua que el nitrógeno y a que es posible que reaccione con receptores enzimáticos de oxígeno por lo que es más eficiente a la hora de desplazar el O₂ que el N₂ (Spencer, 1995). Esto influye de forma favorable en la estabilidad del color, ya que al igual que el N₂ en su combinación con CO₂ el argón proporciona durante el envasado condiciones bajo las cuales el color no desaparece rápidamente (Ruiz Capillas y col., 2010).

1.4.2.2.- Materiales utilizados en el EAM

Los materiales utilizados en el envasado de alimentos son cristal, metal, papel y plástico, aunque son los plásticos debido a sus propiedades los más aptos para el envasado de alimentos (McMillin, 2008). Suelen emplearse materiales “multicapas” formados por distintos polímeros con propiedades barrera teniendo cada una de las capas unas características determinadas de protección, técnicas y comerciales. Las estructuras multicapa formadas por polímeros distintos cuentan con una permeabilidad muy baja y preservan mejor la atmósfera interna del envase.

Para que el envase sea útil debe reunir una serie de requisitos relativos a diseño, precio y material. Este último es el más interesante a efectos de conservación del alimento y debe reunir una serie de características:

- Mecánicas: resistencia a la abrasión, desgarró, perforación, etc.
- Ópticas: brillo y/o transparencia, permitiendo la visualización del producto.
- Permeabilidad a los gases y vapor de agua: función de la naturaleza del polímero (cristalización, grado de entrecruzamiento...), del gas (tipo, forma, tamaño y polaridad), de la interacción gas-polímero y de factores externos como la temperatura, presión, etc. (Rodríguez Giro, 1998).

Tabla I.2: Principales materiales utilizados en el envasado de alimentos en atmósferas protectoras (García Iglesias y col., 2006)

Película	Permeabilidad a los gases (cm ³ /m ² . día . atm) películas de 25 mμ 25°C			Transmisión de vapor de agua (g/m ² . día)38°C 90% HR	Resistencia a grasas y aceites
	O ₂	CO ₂	N ₂		
Polietileno de baja densidad (LDPE)	7800	42000	2800	18	Pobre
Polietileno de alta densidad (HDPE)	2600	7600	650	7-10	Buena-excelente
Polipropileno (PP) fundido	3700	10000	680	10-12	Buena
Polipropileno orientado	2000	8000	400	6-7	Buena-excelente
Etileno-acetato de vinilo (EVA)	12500	50000	4900	40-60	Pobre
Policloruro de vinilo (PVC) rígido	150-350	150-350	60-150	30-40	Excelente
Policloruro de vinilo (PVC) plastificado	500-30000	1500-46000	300-10000	15-40	Buena
Poliamida (PA) o Nylon-6	40	150-190	14	84-3100	Excelente
Poliamida (PA) o Nylon-11	500	2000	52	5-13	Excelente
Politereftalato de etilenglicol (PET) o poliéster, orientado	50-130	180-390	15-18	25-30	Excelente
Poliestireno (PS) orientado	5000	18000	800	100-125	Buena
Etileno-alcohol vinílico (EVOH)	3-5	-	-	16-18	-
Ionómeros	6000	6000	-	25-35	Pobre

El material de envasado para carne fresca es sólo mínimamente permeable a la humedad y previene la desecación de la superficie, mientras que la permeabilidad a los gases varía según la aplicación.

1.4.2.3.- Equipos de envasado

Para generar la atmósfera protectora, en primer lugar se lleva a cabo una sustitución mecánica del aire, la cual se puede realizar de dos formas:

- **Barrido o purga con gas:** Consiste en desplazar el aire alojado en el espacio de cabeza del envase mediante una corriente continua del gas o gases de interés. El envase se cierra herméticamente cuando se ha sustituido la mayor parte del aire. Se trata de una técnica que permite trabajar a gran velocidad y que opera en continuo, y es el sistema habitual para envasar alimentos de

textura blanda o frágil que no soportan el vacío. El inconveniente es que permanece una cantidad residual de O₂ en el envase entorno al 2-5%.

- **Vacío compensado:** Se lleva a cabo el vacío en el interior del envase a través de una bomba y, a continuación, se inyecta el gas o gases que componen la atmósfera protectora. Su principal ventaja es que se reduce el remanente de O₂ dentro del envase gracias al vacío inicial.

Tabla I.3: Principales equipos de envasado en atmósfera protectora (García Iglesias y col., 2006)

Equipo de envasado		Sistema de envasado	Generación de la atmósfera protectora	Producción (velocidad)	Tipos de envases
Envasadora vertical		EAM	Barrido con gas	Por lotes /continua (30-120 envases/min)	Flexibles, formados in situ
Envasadora horizontal	Flow-pack BDF	EAM	Barrido con gas	Continua (Flow-pack: 120 envases/min)	Flexibles, formados in situ
	Flow-vac (Sistema de carga)	EV/VSP	Vacío compensado	Continua (60 envases/ min)	Flexibles, formados in situ
Envasadora de campana		EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Por lotes (2-3 ciclos */min)	Rígidos, flexibles, preformados
Línea termoformadora		EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Por lotes (5-12 ciclos /min)	Rígidos, formados in situ
Cerradora o termoselladora	Semiautomática	EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Por lotes (2-3 ciclos /min)	Rígidos, preformados
	Automática	EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Continua (15-20 ciclos/min)	Rígidos, preformados
Selladora de bolsa en caja		EV/EAM	Vacío compensado	Por lotes (3-30 cajas/min)	Flexibles, preformados Caja cartón
Envasadora de succión externa		EV/EAM	Vacío compensado	Por lotes	Rígidos y flexibles, preformados

En la tabla I.3 se indican los principales equipos de envasado en atmósfera protectora. En general, el funcionamiento básico de los equipos de envasado de alimentos en atmósfera modificada consiste en dosificar el producto en el recipiente, que puede formarse in situ en la propia máquina envasadora o utilizarse preformado, evacuar el aire de su interior y sellarlo herméticamente tras inyectar la atmósfera protectora (salvo en el envasado al vacío). Los sistemas basados en la formación in situ del envase evitan el almacenamiento de bolsas y barquetas de diversos tamaños.

En estos casos, hay un aprovechamiento más eficaz del material de envasado puesto que los recipientes se diseñan según las dimensiones de cada producto.

- **Equipos de formado-llenado-sellado**

Los equipos de formado-llenado-sellado trabajan con el método de barrido, en el que el gas o gases protectores se aplican sobre el producto mediante una corriente continua que desplaza el aire. Estos sistemas pueden encontrarse en disposición vertical y horizontal según el mecanismo de desplazamiento del material de envasado y suelen utilizar envases flexibles tipo almohada y tipo sobre o saco.

- **Envasadoras de vacío o campana**

Generan la atmósfera protectora mediante la técnica de vacío. Tras evacuar el aire del interior del envase mediante una bomba de vacío, se inyecta el gas o mezcla de gases a través de unas boquillas y se sella la película superior a la bandeja o el lado abierto del envase y se corta el material sobrante.

- **Termoformadoras**

Utilizan el método de vacío compensado para la generación de la atmósfera protectora. Operan en continuo y los envases son formados en el momento (generalmente bandejas), posteriormente se llenan con el producto y se extrae el aire a través de unas bombas de vacío para seguidamente inyectar el gas o gases protectores. Por último, un sistema de corte separa las bandejas terminadas.

- **Cerradoras o termoselladoras**

El envasado se lleva a cabo dentro de una cámara, la cual se cierra herméticamente para que se produzca la eliminación del aire de su interior y se introduzca la atmósfera protectora.

- **Selladoras de bolsa en caja**

Estos equipos (*bag in box*) se emplean para el envasado al vacío o en atmósfera modificada de grandes cantidades de alimentos, sobre todo carnes y pescados. Los productos se colocan en el interior de una bolsa prefabricada situada dentro de una caja de cartón, y a través de unas boquillas se extrae el aire contenido en la bolsa y se inyecta el gas o gases protectores antes de su sellado.

- **Envasadoras de succión externa**

Se utilizan fundamentalmente para el envasado al vacío aunque algunos equipos cuentan con adaptaciones que permiten generar atmósferas modificadas por el sistema de vacío compensado.

1.4.2.4.- Efecto del envasado en el color de la carne

Como se ha comentado anteriormente, el color de la carne es uno de los atributos más valorados por el consumidor en el momento de la compra, hasta el punto de ser considerado como uno de los criterios preferenciales para el consumidor (Mancini y Hunt, 2005). El consumidor “en general” prefiere carne de color rojo brillante, mientras que rechaza la de color apagado o pardo (Berriain y Lizaso., 1997), así como aquella carne con color púrpura, que considera de peor calidad (Carpenter y col., 2001).

Durante el almacenamiento, la carne fresca sigue sufriendo reacciones químicas de respiración mediante la absorción de O₂ y liberación de CO₂, aunque ésta no se produce de la misma forma que en frutas y vegetales (McMillin, 2008). La mitocondria del músculo postmortem continúa metabolizando el O₂ aunque la actividad disminuye con el tiempo, lo cual influye en la estabilidad redox de la mioglobina y por tanto en el color, y en la oxidación de los lípidos de la membrana mitocondrial. El color de la carne fresca depende de los niveles relativos de los tres derivados de la mioglobina (Renerre, 1990). La deoximioglobina y la oximioglobina, ambas en estado reducido, pueden oxidarse a metamioglobina, la cual tiene un color marrón apagado y está asociada al deterioro de la calidad (Kropf, 2003).

En la carne envasada en atmósferas modificadas, se sabe que altas concentraciones de O₂ en el envase prolongan la estabilidad del color (Bartkowski y col., 1982; Asensio y col., 1988), pero podrían incrementar la tendencia a la oxidación de los lípidos de la carne (Smiddy y col., 2002).

Otra forma de mantener la estabilidad del color es mediante la utilización en el envasado de monóxido de carbono (ver apartado 1.2.2.1), el cual se une fuertemente a la mioglobina para formar carboximioglobina, que tiene un color rojo brillante (Krause y col., 2003; Martínez y col., 2005; Fernández-López y col., 2008) y un espectro de absorción casi idéntico al de la oximioglobina (Cornforth, 1994). Además, existen estudios que concluyen que el CO no presenta riesgo de toxicidad para los consumidores cuando se utiliza en concentraciones inferiores al 1% (Sørheim y col., 1997). La carboximioglobina es mucho más estable a la oxidación que la oximioglobina

debido a la fuerte unión del CO al hierro-porfirina en la molécula de mioglobina (Sebranek y col., 2006). Sin embargo esto puede enmascarar el deterioro de la carne, porque el color rojo estable puede mantenerse más allá de la vida útil microbiológica de la carne (Kropf, 1980).

Por otra parte el envasado al vacío de la carne puede aumentar también la estabilidad del color ya que mantiene bajos los niveles de metamioglobina. El deterioro del color está relacionado con un mayor contenido en este pigmento y con cambios en los parámetros colorimétricos que indican decoloración (Vieira y col., 2009).

El color de los productos crudos curados se atribuye principalmente al contenido en nitrosomioglobina, y su decoloración es principalmente atribuida a la oxidación (Møller y col., 2000), formándose metamioglobina responsable del color marrón de la carne (Lindahl y col., 2001). La estabilidad del color de los productos cárnicos curados envasados en atmósferas modificadas depende del nivel de oxígeno que exista en el espacio de cabeza del envase, de forma que la estabilidad disminuye a medida que aumenta el oxígeno residual en éste (Andrés y col., 2005; García-Esteban y col., 2004). En este sentido el uso de gases inertes, como el argón o el nitrógeno, en combinación con el CO₂, proporciona las condiciones óptimas para preservar el color en productos cárnicos curados y que éste no desaparezca de forma rápida. (Kropf, 2004).

1.4.2.5.- Efecto del envasado en la textura de la carne

La textura es el conjunto de sensaciones físico-mecánicas percibidas durante la manipulación y la masticación de la carne (Guardiola, 1994). Incluidos en el atributo de textura, los parámetros más destacados en el caso de la carne, son la dureza y la jugosidad. La dureza es la sensación obtenida durante la masticación debida a la facilidad o la dificultad de penetración de los dientes, a la mayor o menor dificultad a la fragmentación y la cantidad de residuo tras la masticación (Lawrie, 1991). El colágeno y el sistema de contracción muscular son, fundamentalmente, los dos tipos de componentes musculares que contribuyen a la dureza de la carne. La contribución de cada uno de ellos depende de circunstancias pre y post-mortem, como por ejemplo el grado de contracción de las miofibrillas, el tipo de músculo o el tipo de cocinado. Además, la oxidación de las proteínas miofibrilares también afecta negativamente a la dureza de la carne (Rowe y col., 2004). De hecho, algunos autores han observado que atmósferas con un elevado porcentaje de oxígeno aumentaron la dureza en carne de ternera (Seyfert y col., 2004) y de cerdo (Lund y col., 2007b).

La jugosidad es un descriptor importante del atributo textura, ya que es una propiedad organoléptica que representa el carácter más o menos seco de la carne durante su consumo. Se puede hablar de jugosidad inicial o jugosidad mantenida, según el momento en el que se aprecia. La jugosidad inicial es la impresión de humedad notada en las primeras masticaciones y se debe a la liberación rápida de los jugos de la carne. En cambio, la jugosidad mantenida, más prolongada en el tiempo, consiste en una liberación lenta del agua libre de la carne, a la que se adiciona el efecto estimulante de los lípidos sobre la secreción salivar (Bouton y col., 1975).

Los cambios en la dureza durante la maduración de los embutidos están atribuidos al contenido de agua y al estado de las proteínas (Monin y col, 1997), y pueden continuar durante el almacenamiento en atmósferas modificadas debido a los cambios que se produzcan en el contenido de agua (García Esteban y col, 2004). Durante el almacenamiento, se produce, de forma general, una migración del agua desde las partes más húmedas del producto (en su interior) hacia las áreas más secas, que se corresponden con su parte exterior. Debido a la baja permeabilidad del plástico utilizado para el envasado se previene la pérdida de humedad del producto, por lo que puede tener lugar un ablandamiento de la parte exterior del producto y un endurecimiento del interior, como se ha observado en cecina (Rubio y col, 2007a). Por otra parte, según estudios realizados por García Esteban y col. (2004) sobre jamón curado, el envasado en atmósfera modificada preserva de forma más eficiente del endurecimiento y deterioro de las propiedades de textura durante el almacenamiento que el envasado al vacío.

1.4.2.6.- Oxidación de la carne y productos cárnicos durante el envasado

Durante el almacenamiento de carne fresca envasada en atmósferas ricas en oxígeno, la oxidación lipídica puede verse favorecida (Abuja, 2001; Knut y col, 2006), así como los fenómenos de oxidación que afectan a las proteínas (Ferioli y col., 2008) y la decoloración de la carne (Luño y col., 1998). El desarrollo de los procesos oxidativos en la carne va a depender del equilibrio entre las moléculas antioxidantes presentes en el músculo, como la vitamina E y las enzimas antioxidantes (catalasa, superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa), y las sustancias lipídicas sensibles a la peroxidación, es decir, los ácidos grasos poliinsaturados, así como de la cantidad de mioglobina presente en el músculo (Filgueras y col., 2010). Además, algunos autores relacionan una mayor la carga microbiana inicial con un aumento en la velocidad de formación de metamioglobina, y en consecuencia, con una mayor oxidación lipídica (Kennedy y col., 2004)

La oxidación lipídica puede dañar las propiedades sensoriales de los alimentos, ya que la grasa contribuye al desarrollo del sabor, textura, jugosidad y sensación general de la lubricidad del producto (Navarro y col., 1997; Muguerza y col., 2002;). Además, la oxidación puede afectar el valor nutricional de los alimentos por la descomposición de las vitaminas, ácidos grasos insaturados esenciales o incluso puede dar lugar a compuestos tóxicos (Ansorena y Astiasarán, 2004). Los productos derivados de la oxidación de los lípidos han sido asociados con el desarrollo de olores y sabores desagradables (Jakobsen y Bertelsen, 2000; Insausti y col., 2001; Jeremiah, 2001). Insausti y col. (2001) establecieron un valor de TBA igual o superior a 5 mg de malodialdehído por kilogramo de carne como una concentración detectable por los humanos. Aun así, la oxidación de los lípidos, normalmente, no se considera un factor limitante para la vida útil de carne envasada en atmósferas, ya que la oxidación lipídica se produce a un ritmo más lento que la decoloración o el crecimiento microbiano (Zhao y col., 1994). Sin embargo, cuando en el envasado en atmósfera modificada se controlan los demás mecanismos de deterioro de la carne, la oxidación de los lípidos puede limitar la vida útil (McMillin, 1993). Numerosos estudios coinciden en que oxidación de los lípidos se ve favorecida por la presencia de oxígeno en el envase (O'Grady y col., 2000; Jeremiah, 2001), incluso pequeñas cantidades de oxígeno residual (0-2%) podrían explicar las reacciones de oxidación lipídica (Berruga y col., 2005). Además, el oxígeno también favorece la oxidación proteica, mediante la formación de enlaces cruzados intermoleculares de la cadena pesada de la miosina a través de enlaces disulfuro, lo cual se traduce en una disminución de la ternura de la carne (Lund y col., 2007b).

Otros autores (Martínez y col., 2005) en cambio, relacionan el aumento en el grado de oxidación de los lípidos con la presencia de altas concentraciones de CO₂, debido al efecto que este gas ejerce sobre el pH de la carne. Las altas concentraciones de CO₂ provocan una disminución del pH, y este pH más bajo parece ser el responsable de un aumento de la velocidad de oxidación, según los resultados encontrados por distintos autores en carne de cerdo (Yasosky y col., 1984; Juncher y col., 2001; Kuo y Chu, 2003).

La adición de monóxido de carbono a la mezcla de gases podría prevenir la oxidación de los lípidos ya que autores como Guidera y col. (1997) en sus estudios sobre carne de cordero, han observado que cuanto mayor es la estabilidad del pigmento responsable del color, menor es la oxidación lipídica, y como bien es sabido, el monóxido de carbono está implicado en la formación de un pigmento de color rojo brillante muy estable, la carboximioglobina (Luño y col., 2000).

En cuanto a los embutidos, el tipo de carne magra que se utilice en su formulación es un factor importante en la oxidación de los lípidos debido a su alto contenido en hierro, ya que éste es promotor de la oxidación de los mismos (Fiore y col., 2007). Otros factores que afectan a la oxidación de lípidos son las operaciones llevadas a cabo durante el proceso de elaboración, así como los aditivos utilizados en la formulación de los embutidos, ya que las operaciones de picado y amasado rompen la estructura muscular e incrementan la superficie expuesta al oxígeno y a otros catalizadores de la oxidación (Chizzolini y col., 1998; Rubio y col., 2008).

Como se ha dicho anteriormente, el primer paso en la oxidación de los lípidos es la generación de hidroperóxidos transitorios, que se degradan en malondialdehído y otros compuestos reactivos (Shahidi, 1994; Summo y col., 2006). La oxidación de la fracción lipídica es una de las mayores causas de disminución de la calidad de los embutidos durante su vida útil y promueve problemas de rancidez que son considerados desagradables por los consumidores (Jeremiah, 2001) debido a la generación de compuestos de degradación como los alquenos y dienos, que están asociados al olor y sabor rancio (Ansorena y col., 2004). Con el fin de proteger a los embutidos de la degradación por oxidación y por lo tanto, para extender su vida útil, se añaden compuestos anti-oxidantes naturales o artificiales en su formulación (Ruiz Pérez-Cacho y col., 2005; Summo y col., 2006). El envasado al vacío y en atmósferas modificadas también está siendo muy utilizado en productos cárnicos curados (Rubio y col., 2008). Los gases más comúnmente empleados, en el caso de productos de charcutería, son N_2 , CO_2 y O_2 en diferentes proporciones. En particular, con el objetivo de aumentar la vida útil, la concentración de O_2 puede reducirse o incluso puede eliminarse totalmente por el aumento de la concentración de CO_2 (Summo y col., 2010).

En general, el envasado al vacío consigue una mayor estabilidad lipídica en productos cárnicos curados como el jamón, que muestra menores valores de TBA en comparación con el envasado en atmósferas modificadas (Cilla y col., 2006; Parra y col., 2010). Sin embargo, otros autores (Rubio y col., 2008; Zanardi y col., 2002) han encontrado menores valores de TBA en las muestras de salchichón envasadas con mezcla de gases que en las envasadas al vacío.

El tiempo de almacenamiento también afecta a la estabilidad de los lípidos. En general, la oxidación lipídica aumenta a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento (Summo y col., 2006; Gök y col., 2008; Parra y col., 2010) tanto en el envasado al vacío como en atmósferas modificadas. Sin embargo, otros autores (Ansorena y Antiasarán, 2004; Rubio y col., 2008) han obtenido en cambio una

disminución de los valores de TBA al final del periodo de almacenamiento de los embutidos. Janero (1990) señala que una disminución en los valores de TBA durante el almacenamiento podría atribuirse a la reacción de MDA con aminoácidos, azúcares y nitrito en formulaciones complejas.

1.4.2.7.- Calidad higiénica de la carne y productos curados durante el envasado.

La calidad higiénica es, junto a la capacidad de retención de agua, el color y la estabilidad oxidativa de lípidos y proteínas, una de las propiedades de la carne que determinan su vida útil. La población microbiana presente en la carne está condicionada por la especie animal, su estado de salud y la manipulación de los animales vivos, las prácticas de sacrificio, la higiene del personal que lo lleva a cabo y el mantenimiento de la cadena de refrigeración, la higiene durante el proceso de fabricación, el tipo de envase que se utilice y el tiempo y temperatura de almacenamiento (Nottingham, 1982; Grau, 1986). Los principales factores que influyen en el proceso de deterioro de la carne y la velocidad de crecimiento microbiano son el pH, y las concentraciones de grasa y L-lactato, ya que un pH inicial bajo así como una baja cantidad de grasa y una alta concentración de L-lactato, afectan positivamente a la vida útil de la carne (Blixt y Borch, 2002). Además, es bien sabido que la carne con un pH inicial alto (carnes DFD, con pH mayor de 6) y con bajas concentraciones de glucosa se deteriora más rápidamente que la carne con pH normal, debido a que se ve favorecido el crecimiento de bacterias tales como Enterobacterias, *Brochotrix thermosphacta* y *Shewanella putrefaciens* (Gill y Newton, 1979).

Generalmente, en la carne, la microflora predominante son bacterias del género *Pseudomonas* (Ruiz Capillas y Jiménez-Colmenero, 2010), así como los géneros *Moraxella* y *Acinetobacter*, bacterias aerobias Gram negativas, que prevalecen a baja temperatura (Bermúdez y Rodríguez, 2001). En los tejidos musculares los microorganismos se encuentran habitualmente en la superficie, ya que el interior de los tejidos musculares de animales sacrificados en condiciones higiénicas razonables suelen ser estériles. Los microorganismos no pueden penetrar en el tejido muscular hasta que producen enzimas proteolíticas, lo cual no ocurre hasta que se encuentra muy avanzado el crecimiento exponencial de los microorganismos. Para entonces, el músculo suele estar recubierto de limosidad y claramente alterado, y por tanto, los microorganismos se desarrollan en superficie hasta alcanzar recuentos de alteración antes de que se produzca la invasión de tejidos profundos (Brody, 1996).

Los lactobacilos y *Pseudomonas* son los principales responsables de la producción de compuestos como ácidos orgánicos, acetoína, diacetilo, putrescina y cadaverina, que se asocian con la alteración de la carne (García de Fernando y col., 1995). Los anaerobios facultativos, como las enterobacterias, también aparecen en la alteración aerobia. Sin embargo, a bajas temperaturas, las enterobacterias crecen mucho más despacio que los aerobios estrictos (Brody, 1996), aunque existen patógenos capaces de crecer a temperaturas de refrigeración, entre los que destacan microorganismos de los géneros *Yersinia*, *Escherichia*, *Clostridium* y *Listeria*.

Durante el almacenamiento de la carne en atmósferas enriquecidas en CO₂ o a vacío, la microflora predominante cambia hacia otra dominada completamente por bacterias ácido lácticas (Ruiz-Capillas y Jimenez-Colmenero, 2004a; Sorheim y col., 1999), anaerobios facultativos capaces de crecer en presencia y ausencia de oxígeno (Patsias y col., 2008). El CO₂ inhibe el crecimiento de bacterias aeróbicas Gram negativas, como las pseudomonas, debido a que alarga la fase de adaptación y disminuye la velocidad de crecimiento durante la fase logarítmica (Farber, 1991; Martínez y col., 2005), y permite el crecimiento de las bacterias anaerobias facultativas. Kennedy y col. (2004) obtuvieron un aumento de los recuentos de bacterias ácido lácticas durante el almacenamiento de carne envasada en diferentes atmósferas modificadas, siendo las atmósferas con mayor contenido en oxígeno las que dieron recuentos de bacterias ácido lácticas mayores. Los recuentos microbianos iniciales, así como una baja temperatura de almacenamiento aumentan la efectividad del CO₂ (Gill y Mollin, 1991). Según Sahoo y Anjaneyulu (1995), la concentración de CO₂ óptima para inhibir el crecimiento de las bacterias responsables del deterioro de la carne es 40 y 60% de CO₂.

Otro gas utilizado en el envasado de la carne en atmósferas modificadas es el argón, que aunque era considerado un gas completamente inerte, algunas investigaciones sugieren que es bioquímicamente activo, probablemente debido a su mayor solubilidad en agua, en comparación con el nitrógeno, y a su posible interferencia con los receptores enzimáticos de oxígeno (Spencer, 1995). Fraqueza y col. (2008) observaron que el argón en asociación con el CO₂ fue más eficiente a la hora de retrasar el desarrollo de la flora bacteriana que el CO₂ mezclado con N₂ en lugar de argón. Sin embargo, otros autores como Ruiz Capillas y Jiménez-Colmenero. (2010) encontraron un efecto apenas perceptible sobre enterobacterias en salchichas frescas de cerdo envasadas en atmósferas que contenían argón.

El crecimiento bacteriano es también una causa importante de decoloración de la carne fresca, ya que las bacterias causan una reducción de la concentración de oxígeno y, en consecuencia pueden ser causa de alteración del color del pigmento de la carne (Renner, 1990). Sin embargo, como se ha dicho anteriormente, la decoloración podría evitarse mediante la incorporación de determinados gases a la mezcla de envasado.

En cuanto a los embutidos crudos curados, su proceso de elaboración influye de manera decisiva en la calidad microbiológica del producto final, ya que la manipulación que se produce durante las etapas de picado, amasado y embutido de la masa cárnica son críticas (Martín Juárez, 2005), y aunque los embutidos fermentados presentan una seguridad biológica alta, pues los microorganismos que encontramos en estos productos son típicos de los productos curados, pueden producirse contaminaciones más o menos severas del alimento durante el proceso de elaboración y su posterior loncheado, ya que se han descrito brotes de salmonelosis y *Staphylococcus aureus* enterotoxigénicos por consumos de embutidos fermentados. De hecho, el deterioro microbiano y el deterioro de color son considerados los problemas más comunes durante la vida útil de productos cárnicos (Church, 1993). La propia composición de ácidos grasos del embutido va a influir en el deterioro microbiológico de la carne, ya que Ouattara y col. (1997), estudiando la actividad antimicrobiana de los ácidos grasos, encontraron que los ácidos láurico y palmítico poseen un gran efecto inhibitorio sobre los microorganismos.

Durante la fermentación de los embutidos van a proliferar microorganismos Gram positivo, principalmente *micrococos* y *staphylococos*, además de bacterias ácido-lácticas y bacilos. Los micrococos son los responsables de la reducción de nitratos y nitritos, favoreciendo así la formación de nitrosomioglobina, que es el pigmento responsable del color de los embutidos. La fermentación de los azúcares va a ser llevada a cabo por las bacterias ácido-lácticas, las cuales deben ser homofermentativas, es decir, que produzcan únicamente ácido láctico como resultado de su metabolismo. Debido a la buena adaptación de las bacterias ácido lácticas al entorno de la carne y a su rápido crecimiento durante la fermentación y maduración de los embutidos, éstas se convierten en la microflora dominante (Drosinos y col., 2005).

Los embutidos se pueden presentar en el mercado de diferentes formas, como piezas enteras, en porciones o loncheados. La aplicación del envasado en atmósferas modificadas en embutidos crudos curados ha aumentado en los últimos años. El

envasado a vacío es el más frecuente en el mercado, debido a que el producto se presenta en una forma más atractiva a la vez que se preserva su calidad y se extiende su vida útil (Rubio y col., 2007a). Sin embargo, la utilización de mezclas de gases en el envasado de embutidos crudos curados está comenzando a extenderse, sobre todo de cara a la exportación (Ayuso, 2003), pero la optimización de la composición de la mezcla es fundamental para garantizar la seguridad y calidad del producto. Cuando el producto es loncheado, su superficie de contacto aumenta y por lo tanto, su exposición a la atmósfera es mayor. En consecuencia, se favorece la deshidratación y la pérdida de color, y además se producen cambios microbiológicos y en el sabor, reduciendo considerablemente la vida del producto (Gavara y col., 2003).

El dióxido de carbono es el gas más utilizado en el envasado de productos cárnicos, tanto crudos como cocidos, debido a su fuerte efecto inhibitorio sobre los microorganismos (Borch y col., 1996; Sørheim y col., 2004), ya que inhibe el crecimiento de microorganismos alterantes como las *Pseudomonas* (Rubio y col., 2007a). Investigaciones anteriores (Devlieghere & Debevere, 2000) han demostrado que la concentración de CO₂ disuelta en la fase acuosa de un alimento determina la inhibición del crecimiento de microorganismos en una atmósfera modificada.

En cuanto al nitrógeno, éste no presenta efecto inhibitorio sobre los microorganismos, sino que generalmente es utilizado como gas de relleno (Gök y col., 2008).

En lo que respecta a la presencia de mohos y levaduras en embutidos crudos curados o jamón curado envasados en atmósferas modificadas, existen resultados contradictorios en la bibliografía, ya que algunos autores (Borch y col., 1996; Gök y col., 2008) han encontrado que el envasado con CO₂ y N₂ previenen significativamente su crecimiento, mientras que en otros estudios sus recuentos aumentan durante el almacenamiento tanto a vacío como con mezcla de gases, lo cual puede indicar que los mohos son capaces de crecer a muy bajas concentraciones de oxígeno (0,1% o menor) (Hugas y col., 1987; Suppakul y col., 2003; Rubio y col., 2007a).

Un problema que han encontrado algunos autores durante el envasado de productos cárnicos como el jamón o la cecina (García-Esteban y col., 2004; Rubio y col., 2007a) ha sido la formación de una película blanca en la superficie del producto, cuyo principal componente es la tirosina, y que puede ser debida a la acción de los *micrococos* presentes en el embutido o a la de enzimas proteolíticas. Estos mismos autores observan que la formación de dicha película es más lenta en muestras

envasadas con mezclas de gases que en aquellas envasadas a vacío, lo cual puede ser atribuido a la presencia de CO₂ (Rubio y col., 2007a).

PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

El presente trabajo consta de dos planteamientos individuales pero relacionados.

El consumo y venta de carne fresca de cerdo Ibérico ha aumentado significativamente en los últimos años, y especial mención merecen en este sentido las piezas de carne que hasta hace poco se utilizaban únicamente para la elaboración de embutidos, como es el caso de la "presa". En los últimos años, las empresas que se dedican a su distribución utilizan la congelación como medio de conservación siendo el destino de estas piezas, la restauración o la exportación. La carne congelada, puede llegar hasta mercados exteriores y, una vez allí, ser comercializada refrigerada, envasada en atmósferas modificadas para extender su vida útil preservando sus atributos sensoriales. Hasta la fecha, son escasos los estudios llevados a cabo sobre los efectos de la congelación en carne de cerdo (Sakata y col., 1995; Ngapo y col., 1999; Hansen y col., 2004a, 2004b; Mortensen y col., 2006) e inexistentes en el caso del cerdo Ibérico y piezas como "presa". Por todo ello, se ha planteado una primera parte de esta Tesis Doctoral centrada en la consecución de los siguientes objetivos:

- 1.1-Estudiar el efecto del tiempo de congelación sobre las características físicas, químicas e higiénicas de la carne "de presa" fresca (*Serratus ventralis*), más relacionadas con la calidad y determinar si es posible prolongar su vida útil durante un periodo de un año y medio.
- 1.2- Determinar si los datos de reflectancia registrados en la superficie de corte de carne "de presa" (*Serratus ventralis*), pueden utilizarse para reconocer carne congelada o almacenada en refrigeración mediante modelos SIMCA (Soft Independent Modelling of Class Analogy).
- 1.3- Determinar si los datos de reflectancia obtenidos en la superficie de corte de carne "de presa" de cerdo (*Serratus ventralis*) pueden utilizarse para calcular índices relacionados con el color, aspecto y cantidad de pigmento de la carne.
- 1.4-Estudiar el efecto del almacenamiento en refrigeración y en atmósferas modificadas sobre características físicas, químicas e higiénicas más relacionadas con la calidad de la carne "de presa" fresca (*Serratus ventralis*), congelada y descongelada posteriormente y determinar si es posible prolongar su vida útil durante un periodo de 7 días en refrigeración.

1.5-Describir y cuantificar la intensidad de los atributos sensoriales que definen la calidad de la carne fresca de cerdo ibérico mediante un panel de catadores, y evaluar las diferencias sensoriales debidas a las distintas condiciones de almacenamiento (congelación/almacenamiento EAM).

Un segundo planteamiento se centra en el hecho de que nuestra región es una de las mayores productoras de embutidos crudos curados provenientes de cerdos Ibéricos, cuyo consumo es de gran importancia tanto a nivel regional como nacional. Además, existe una gran demanda de estos productos derivados del Ibérico en países de la Unión Europea como Francia, Alemania o Portugal, donde son ampliamente reconocidos, y cada vez hay más empresas que comienzan a exportarlos a otros países como Estados Unidos o Japón. Por todo ello es interesante y necesario el aumento de la vida útil de estos productos mediante la utilización de tecnologías de conservación que proporcionen a las empresas una estrategia de vital importancia de cara a la exportación. Los gases utilizados normalmente en el envasado de carne y productos cárnicos son el dióxido de carbono, el oxígeno y el nitrógeno (Sørheim y col., 1997), aunque existen otros gases como el argón con propiedades similares (Spencer & Humphreys, 2003) que pueden ser utilizados en el envasado en atmósferas modificadas. Por tanto, los objetivos de la segunda parte de esta Tesis Doctoral son los siguientes:

- 2.1-Estudiar el efecto que las distintas composiciones de gases empleadas en el experimento tienen sobre las características físicas (color, textura), químicas (oxidación lipídica y proteica) e higiénicas (recuento y perfil microbiano) de los embutidos crudos curados de cerdo ibérico, y determinar si es posible prolongar la vida útil de los embutidos crudos curados un periodo de 1 año.
- 2.2- Determinar si los datos de reflectancia registrados en la superficie de corte de embutidos crudos curados de cerdo ibérico, pueden utilizarse para reconocer carne almacenada en distintas condiciones de envasado y durante distintos tiempos, utilizando modelos SIMCA (Soft Independent Modelling of Class Analogy).
- 2.3- Determinar si los datos de reflectancia pueden utilizarse para calcular índices relacionados con el aspecto y color de embutidos crudos curados de cerdo ibérico.
- 2.4- Describir y cuantificar la intensidad de los atributos sensoriales que definen la calidad de los productos cárnicos crudos curados mediante un panel de catadores entrenado, y evaluar las diferencias sensoriales debidas a las distintas condiciones de almacenamiento (tiempo/almacenamiento EAM).

MATERIAL Y MÉTODOS

III. MATERIAL Y MÉTODOS

III.1.- Diseño experimental

III.1.1- Ensayo 1: Congelación/descongelación/EAM de carne fresca de cerdo ibérico (presa ibérica)

Para realizar este estudio se partió de músculos *Serratus ventralis* ("presa") procedentes de cerdos Ibéricos (n=56), debido a que se trata de una pieza de alto valor comercial cada vez más demandada por el consumidor. Se utilizaron 56 piezas de presa ibérica con un peso inicial de 0.631 ± 0.096 kg proporcionadas por la empresa Montesano S.A., las cuales tras 24 horas de maduración en refrigeración ($5 \pm 1^\circ\text{C}$) fueron introducidas en bolsas y sometidas a retracción con agua caliente a una temperatura de 80°C en un túnel de retracción TECNICAL modelo RI-CT-650 (figura III.1). El material plástico utilizado para la retracción fueron bolsas multicapa de alta barrera de Polietileno de baja densidad/VDC/Acetato de vinilo (BB3050, CRYOVAC) de 50 micras de espesor, con un rango de permeabilidad al O_2 de $20 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{bar}/24\text{h}$ a 23°C y un rango de transmisión de vapor de agua de $7 \text{ g}/\text{m}^2/24 \text{ h}$ a 38°C y 98% de H.R.



Figura III.1. Túnel de retracción



Figura III.2. Túnel congelación

Las muestras (n=56) se congelaron en túnel de congelación (INTEFRI) a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (figura III.2). Posteriormente fueron almacenadas a -18°C en una cámara de congelación durante un año y medio, tomándose muestras inicialmente (día 0, carne fresca antes de congelar), después de un año (día 365) y al final del periodo de almacenamiento (día 475). La descongelación de la carne en el momento de las tomas de muestras se llevó a cabo manteniendo ésta en refrigeración ($5\pm 1^{\circ}\text{C}$) durante 48 horas, hasta su atemperado (0°C). A continuación, las presas fueron fileteadas, obteniéndose filetes de aproximadamente 1.5 cm de grosor. Los filetes fueron envasados en bolsas de material plástico laminado que consistía en PA

(Poliamida) y PE (polietileno) (Viduca, S.L.), con un rango de transmisión de oxígeno (OTR) de 20 cm³/m²/24h/atm. Para su envasado en atmósferas modificadas se utilizó una envasadora de campana EGARVAC, modelo Basic. La mezcla de gases estuvo compuesta por 30% CO₂, 69,6 %de argón, y 0.4% de CO. Las bandejas fueron almacenadas en refrigeración durante 7 días, tomándose muestras inicialmente (es decir, inmediatamente después de descongelar las muestras) (día 0), a los 3 días (día 3) y al final del periodo de almacenamiento (día 7). Las muestras se expusieron a la luz artificial (600 lux) durante todo el almacenamiento en refrigeración para simular las condiciones de comercialización en los expositores de medias y grandes superficies.

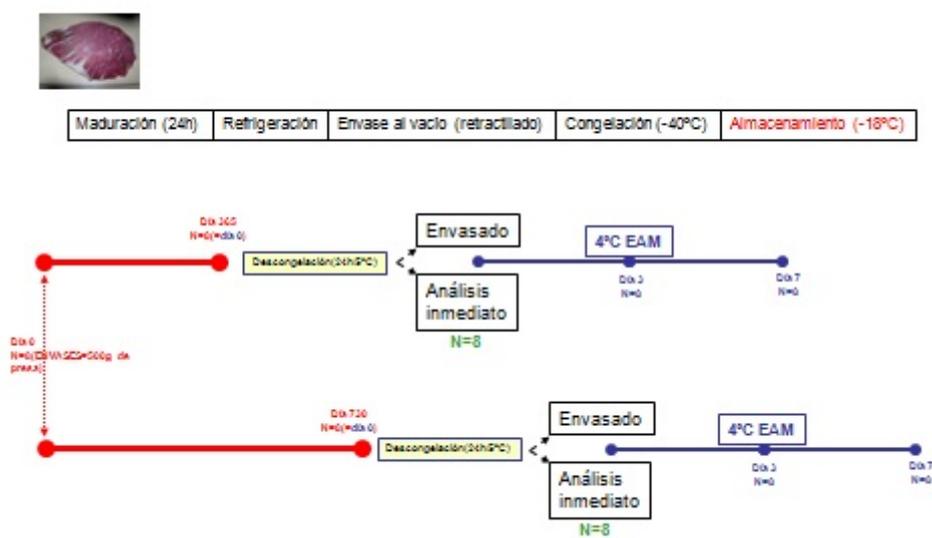


Figura III.3- Esquema del diseño experimental de la primera parte de esta Tesis Doctoral.

III.1.2- Ensayo 2: EAM de productos cárnicos curados fermentados, chorizo sarta, salchichón y chorizo vela

Para la realización de este estudio se utilizaron 120 unidades de chorizo "sarta", salchichón "sarta" y chorizo "vela" (40 unidades de cada uno) elaborados por la empresa Montesano S.A según formulación estándar. El peso inicial de los embutidos fue 0.261 ± 0.0089 kg, 0.224 ± 0.0111 kg y 0.331 ± 0.041 kg respectivamente. Los tres tipos de embutido presentaron un contenido estandarizado de grasa y de magro (30% y 70% respectivamente). En la formulación del salchichón sarta se incluyó un preparado a base de sal, azúcares, lactosa, especias, proteína animal y proteína de

leche, fosfatos, isoascorbato sódico, gluconodelta lactona y conservadores E-250 y E-252. La elaboración del chorizo sarta se llevó a cabo con pimentón, sal y orégano. Ambos tipos de embutidos tenían un calibre de 34-36 cm. En cuanto al chorizo vela, incluyó en su formulación un preparado a base de sal, pimentón, ajo, dextrina, dextrosa, lactosa, proteína de leche, leche en polvo, difosfato sódico, polifosfato sódico, trifosfato pentasódico, conservadores (E-252 y E-250) y citrato trisódico como corrector de la acidez. El calibre de la tripa era de 50-60 cm. El periodo de maduración se dio por terminado cuando las mermas (determinada por la disminución del peso con respecto al peso inicial) del chorizo y salchichón “sarta” alcanzaron un 35-37% y la del chorizo vela 38-41%.

Cada tipo (n=40) de producto cárnico curado fermentado se dividió en 4 lotes, y cada unidad de producto se envasó en una envasadora de campana marca Tecnotrip, mod. EV-13-CB, N° 932334 para los lotes de vacío (figura III.4) y en una envasadora de Flow-Pack Marca ULMA, Modelo PV 350 LSHIX EMB y N° 1219098 (figura III.5) para el resto de lotes y en distintas condiciones: i) al vacío (Lote 1) ii) 70% N₂+ 30% CO₂ (Lote 2) iii) 100 N₂ (Lote 3) iv) 70% Argón + 30% CO₂ (Lote 4). El material plástico de envasado a vacío consistió en PA/PE 30/120 de 150 micras de espesor, con un rango de permeabilidad al O₂ de 25-30 cm³/m²/bar/24h a 23°C y un rango de transmisión de vapor de agua de 1,7 g/m²/24 h a 23°C y 85% de H.R. y en PA/PE 80 de 80 micras de espesor, con un rango de permeabilidad al O₂ de 25 cm³/m²/bar/24h a 23°C y un rango de transmisión de vapor de agua inferior a 2 g/m²/24 h a 23°C y 85% de H.R. Las muestras se almacenaron en refrigeración durante 12 meses, realizándose controles inicialmente, después de 6 meses, a los 9 meses y al final del periodo de almacenamiento.



Figuras III.4 y III.5 Envasadoras vacío y gases

Productos:
 •Chorizo sarta, envases de 250 g
 •Salchichón sarta, envases de 250 g
 •Chorizo vela, envases de 300 g

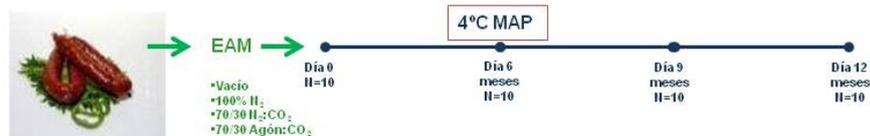


Figura III.6- Esquema del diseño experimental de la segunda parte de esta Tesis Doctoral

III.2.- Análisis físico-químico de las muestras

III.2.1- Medición del color instrumental

El color de la superficie de corte de los filetes de presa ibérica, se midió inmediatamente después de abierto el envase una vez tomadas las muestras para microbiología y por triplicado de acuerdo a las recomendaciones de la American Meat Science Association (AMSA, 1991). Las mediciones se llevaron a cabo con un colorímetro portátil Chroma meter CR-400 de Konica-Minolta (Minolta Camera Co., Osaka, Japan). El colorímetro portátil Minolta CR-400 tiene un área de medición de 8 mm de diámetro e ilumina la superficie del músculo con luz difusa procedente de una lámpara de xenón. Las medidas de reflectancia se recogieron desde un ángulo de visión de 0° C. Se escogió un iluminante CIE tipo D65. Previamente a la realización de la medición, el colorímetro se calibró con una placa de calibración para el color blanco. Se obtuvieron las siguientes coordenadas de color: luminosidad (L*), intensidad de color rojo (a*, rojo ± verde) e intensidad del color amarillo (b*, amarillo ± azul). a* y b* se utilizaron para calcular los parámetros ángulo de hue (H*) y saturación del color o cromaticidad global de las muestras (C*) según las siguientes fórmulas:

$$H^* = \arctan [b^*/a^*]$$

$$C^* = [a^{*2} + b^{*2}]^{0.5}$$

En el caso de los productos crudos curados, se cortaron 3 rodajas del mismo grosor de cada uno de los embutidos para medir el color de la superficie de corte, de la misma forma que se ha explicado para los filetes de carne fresca.

III.2.2- Análisis espectral de los valores de reflectancia de la superficie de las muestras de carne fresca y embutidos

La reflectancia de la superficie de las muestras de presa y de embutidos se midió desde 360nm a 740nm utilizando un espectrocólorímetro Konica Minolta CM-3500d a intervalos de 10nm. En la carne fresca, ésta fue medida sobre filetes de 1 cm de grosor. La absorbancia fue calculada utilizando los valores de reflectancia según Faustman y Phillips (2001) y Millar y col. (1996): $A=(2-\log R)$, donde A representa la absorbancia y R representa el porcentaje de reflectancia. La reflectancia total y absorbancia total se calcularon a partir de la media de las 38 medidas desde 360 hasta 740 nm (Reflectancia total= $\Sigma R_{360}-R_{740} \div 38$; Absorbancia total= $\Sigma A_{360}-A_{740} \div 38$).

Por otra parte, los valores de reflectancia de la carne se convirtieron a los ratios K/S utilizando las siguientes ecuaciones: $K/S = (1-R)^2/2R$, según AMSA (2011), donde R representa el valor de reflectancia, S representa el coeficiente de dispersión y K el coeficiente de absorbancia (AMSA, 2011). Los ratios K/S se determinaron a longitudes de onda isobélicas para oximioglobina y metamioglobina (474 nm), para todas las formas de mioglobina (525 nm), para oximioglobina y deoximioglobina (572 nm) y para metamioglobina y deoximioglobina (610 nm). Estos ratios se utilizan para generar datos lineales, y disminuyen a medida que el contenido de las diferentes especies de la mioglobina aumenta (Castro-Giraldez y col., 2010). También, se calculó el índice de oxigenación (Hunt y col., 1991; Renner, 2000), por el cociente entre la reflectancia a 630 nm (máximo de mioglobina oxidada) y a 580 nm (máximo de mioglobina oxigenada), y el cociente de reflectancia ($A_{485 \text{ nm}}/A_{560 \text{ nm}}$) (Liu y Chen, 2001). El índice de oxigenación (R_{630}/R_{580}) permite estimar la proporción relativa de oxi- y deoximioglobina; así, cuando mayor sea el valor del índice R_{630}/R_{580} más intenso es el color rojo en las muestras debido a una mayor proporción de oxi- y deoximioglobina que de metamioglobina (Pietrasik y Janz, 2009; Martín-Sánchez y col., 2010; Sørheim y col., 2001). Respecto al cociente de reflectancia, un mayor valor de este cociente indica una decoloración más intensa de la carne, ya que la banda de absorción a 485 nm se atribuye a las especies de metamioglobina, las cuales se acumulan a lo largo del almacenamiento de la carne como resultado de la

degradación/oxidación de los componentes de la deoximioglobina y la oximioglobina (Liu y Chen, 2001).

Además, es posible cuantificar los pigmentos de las muestras de carne fresca mediante la conversión de los valores K/S de reflectancia según la fórmula proporcionada por AMSA (2011), para lo cual previamente hay que obtener valores de referencia del 100% de cada una de las formas redox de la mioglobina (AMSA; 2011). La mioglobina de las muestras de carne fresca fue convertida a metamioglobina mediante inmersión de las mismas en potasio ferrocianuro al 1% durante un minuto. Una vez escurridas las muestras y secadas, se envasaron en un plástico permeable al oxígeno durante 12 horas a 2°C para que se llevase a cabo la oxidación del pigmento, y se midió la reflectancia de la superficie. La deoximioglobina se obtuvo introduciendo las muestras de carne fresca en ditionito al 10%, y una vez escurridas y secadas, fueron envasadas a vacío durante 2 horas a temperatura ambiente, obteniéndose a continuación los valores de reflectancia de la superficie. Por último, la mioglobina de las muestras se convirtió a oximioglobina sometiendo éstas a una corriente de 100% oxígeno durante 10 minutos y midiendo inmediatamente la reflectancia de la superficie de las mismas. Una vez que la mioglobina fue convertida al 100% de cada una de sus formas redox, se calcularon los índices K/S a 474, 525, 572 y 610 nm según la fórmula mencionada anteriormente para cada forma redox y éstos fueron sustituidos en la siguiente ecuación de AMSA (2011):

$$\frac{K/S\ 610}{K/S\ 525} \text{ para 100\% DMb o MMb} - \frac{K/S\ 610}{K/S\ 525} \text{ para la muestra}$$

$$\frac{K/S\ 610}{K/S\ 525} \text{ para 100\% DMb o MMb} - \frac{K/S\ 610}{K/S\ 525} \text{ para 100\% OMb}$$

En el caso de los embutidos, se partieron lonchas de 1 cm de espesor de cada uno de los ellos y se realizó la medición de la reflectancia por triplicado.

A partir de estos datos se calcularon distintos índices según Giddey, (1966), Chasco y col., (1996) y Bazán-Lugo y col., (2012). Se calculó el índice de decoloración ($=R_{570}/R_{650}$), donde R_{570} representa el valor de reflectancia a 570 nm de longitud de onda y R_{650} a 650 nm de longitud de onda. De esta manera se puede estimar la proporción relativa entre los pigmentos Fe^{2+} (mioglobina y nitrosomioglobina) y Fe^{3+} (metamioglobina) presentes en la superficie de la muestra. Se calculó además, el

índice de nitrosación ($=R_{560}/R_{500}$), que representa la proporción de pigmentos nitrosados, es decir entre mioglobina y nitrosomioglobina, el índice de color curado ($=R_{650}/R_{570}$), que indica la concentración de nitrosilhemocromo, y por último el color rojo ($=R_{630}/R_{580}$), que representa el ratio entre metamioglobina y oximioglobina.

III.2.3- Análisis de la textura

Se evaluó la terneza de las muestras aplicando el método de corte Warner-Bratzler (figura III.7.) a una sección de carne previamente cocida, una prueba de corte que nos permite calcular la resistencia al corte de la muestra al aplicar una fuerza dada. Los parámetros del test de Warner-Bratzler se explican en la tabla III.1. La carne fue envasada a vacío en bolsas de nylon/polietileno (rango de permeabilidad al oxígeno de 9,3 ml de $O_2/m^2/24h$ a $0^\circ C$) y cocinada por inmersión en un baño con agua a $75^\circ C$ durante 45 minutos (Combes y col., 2003). La sección de carne se obtuvo cortando un paralelepípedo del filete cocinado de un centímetro de alto y un centímetro de ancho. El eje más largo de la sección fue paralelo a la fibra muscular. Las secciones de carne se colocaron perpendicularmente a la cuchilla triangular (HDP/BS) del equipo Warner-Bratzler y se determinó, por duplicado, la fuerza requerida para hacer el corte.

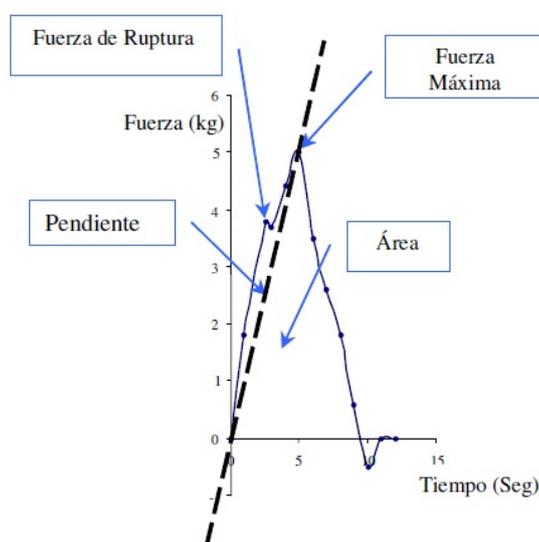


Figura III.7: Representación gráfica del test de Warner-Bratzler para simular la fuerza de corte (newtons) en función del tiempo. (Fuente: "Texture Expert for Windows"(Stable Microsystems Ltd, 1997).

Tabla III. 1: Definiciones de los parámetros del test de Warner-Bratzler (Bourne, 1982)

Parámetro mecánico	Descripción	Variable	Unidades
Fuerza máxima	Fuerza máxima alcanzada para el corte completo de la muestra (también relacionado con la resistencia debida a los componentes del tejido conectivo)	Presión	N
Fuerza de ruptura	Primer punto de ruptura de la gráfica de medición de textura, relacionado con los componentes miofibrilares	Presión	N
Pendiente de Firmeza al Corte	Es la inclinación de la parte de la recta de la curva que se obtiene en la prueba de Warner-Bratzler, trazada desde el origen hasta el punto de fuerza máxima	Velocidad	N/mm
Área	Trabajo total necesario para el corte completo de la muestra	Trabajo	N * mm

En cuanto a los embutidos, se obtuvieron tres rodajas de cada uno de los productos de un centímetro de grosor, y a partir de ellas secciones de un centímetro de ancho a las cuales se evaluó de la misma forma que a la presa la terneza mediante el mismo método de corte.

Además, se determinaron las propiedades de masticabilidad mediante el Análisis de Perfil de Textura (TPA), aplicando el test de doble compresión de Bourne. Las muestras, tanto de carne como de embutidos, fueron preparadas tal y como se ha explicado para el método Warner-Bratzler y sometidas a dos niveles de compresión, al 70% y al 30%, utilizando una sonda cilíndrica de 20 mm de diámetro (P/20) y usando una célula de carga de 25-kN a una velocidad de compresión de 5mm/s. A partir de las curvas de deformación (Bourne, 1978) (figura III.8.) se midieron los siguientes parámetros de textura (tabla III.2): dureza (N)= máxima fuerza requerida para comprimir la muestra (el pico de fuerza durante el ciclo de la primera compresión); cohesividad (adimensional)= medida en cual la muestra podría ser deformada antes de la ruptura (A1/A2, siendo A1 la energía total necesaria para la 1ª compresión y A2 de la energía total necesaria para la 2ª compresión); elasticidad (mm)= altura que recupera la muestra durante el tiempo que transcurre entre el final de la 1ª compresión y el inicio de la 2ª; gomosidad (N)= fuerza necesaria para desintegrar una muestra semisólida a un estado constante de deglución (dureza x cohesividad); resiliencia (adimensional)= capacidad del producto para recuperar su altura original, medida en la primera retirada del cilindro (área bajo la curva durante la retirada de la primera

compresión dividida por el área de la primera compresión) y masticabilidad ($N \cdot mm$) (dureza x cohesividad x elasticidad)= cantidad total de trabajo necesario para masticar una muestra a un estado listo para tragar.

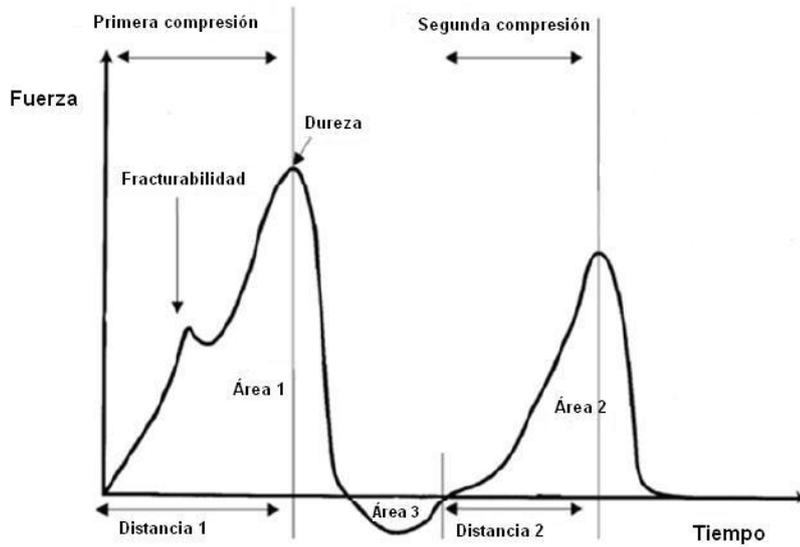


Figura III.8: Representación gráfica de la fuerza (newtons) requerida para llevar a cabo la simulación de los ciclos de masticación en función del tiempo. Dureza=pico área 1; cohesividad= $A1/A2$; elasticidad=distancia 2; gomosidad=dureza x cohesividad; resiliencia= $A3/A1$; masticabilidad=gomosidad x elasticidad. (Fuente: "Texture Expert for Windows" (Stable Microsystems Ltd, 1997).

Tabla III.2: Variables determinadas mediante el Análisis del Perfil de Textura a dos niveles de compresión (70% y 30%)

VARIABLES TPA	
dureza (N)	máxima fuerza requerida para comprimir la muestra (el pico de fuerza durante el ciclo de la primera compresión)
cohesividad (adimensional)	medida en cual la muestra podría ser deformada antes de la ruptura (A1/A2, siendo A1 la energía total necesaria para la 1ª compresión y A2 de la energía total necesaria para la 2ª compresión)
Elasticidad (mm)	altura que recupera la muestra durante el tiempo que transcurre entre el final de la 1ª compresión y el inicio de la 2ª
gomosidad (N)	fuerza necesaria para desintegrar una muestra semisólida a un estado constante de deglución (dureza x cohesividad)
resiliencia (adimensional)	capacidad del producto para recuperar su altura original, medida en la primera retirada del cilindro (área bajo la curva durante la retirada de la primera compresión dividida por el área de la primera compresión)
masticabilidad (dureza x cohesividad x elasticidad)(N*mm)	cantidad total de trabajo necesario para masticar una muestra a un estado listo para tragar

III.2.4- Determinación de la oxidación lipídica

El estudio del nivel de oxidación lipídica de las muestras tanto de carne como de embutidos se llevó a cabo mediante el test del ácido tiobarbitúrico (TBA), siguiendo el procedimiento descrito por Sørensen y Jørgensen (1996) con ligeras modificaciones. Se pesaron 5 gr de muestra en tubos de centrifuga a los cuales se añadió 15 ml de ácido tricloroacético (TCA, 1 gr de propilgalato, 1 gr de ácido etilendiaminatetraacético (EDTA), y 75 gr de TCA por litro de agua mQ). Posteriormente la muestra se homogeneizó durante 45 segundos. A continuación, se centrifugó durante 5 minutos a 4°C y 10000 rpm y se filtró durante 10 minutos. De cada muestra se tomaron dos tubos de rosca a los que se les añadió 4 ml del filtrado a cada uno. Seguidamente se añadieron 4 ml de TBA (288,3 mg por cada 100 ml de agua mQ). Posteriormente se introdujeron los tubos en un baño con agua a 100°C durante 40 minutos. Transcurrido este tiempo, se enfriaron los tubos y se centrifugaron a 4500 rpm durante 10 minutos. Una vez terminado el proceso, se llevó a cabo la medición de la absorbancia por triplicado y frente a un blanco en un espectrofotómetro (UV-2401PC, Shimadzu) a 532 nm. Se llevó a cabo la corrección de la turbidez de la muestra mediante la substracción de la absorbancia a 600 nm de la absorbancia a 532

nm. Los resultados fueron expresados como mg de malondialdehído (MDA) por kg de músculo en las muestras, utilizando tetraetoxipropano (TEP) como estándar.

III.2.5- Determinación de la oxidación protéica

La oxidación proteica fue determinada mediante la medida de los grupos tiol libres siguiendo el método propuesto por Ellman (1959), con leves modificaciones (Batifoulier y col., 2002). Este método se basa en la incubación de un homogenizado de carne con ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzoico (DTNB), también llamado reactivo de Ellman, seguido de la medida espectrofotométrica de los grupos tiol libres. Para ello, se homogeneizaron 2 gramos de carne en 10 ml de tris buffer 1 (17mM, pH 7,4) utilizando un Ultra Turrax. Posteriormente, se mezclaron 250 µl del homogenizado con 750 µl de tris buffer 2 (17mM, pH 8,2) con un 29% de sodio dodecilsulfato (SDS) y 1,3% de ácido etilen-diamino-tetracético (EDTA), 50 µl de ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzoico (DTNB) y 3950 µl de metanol absoluto. A continuación, el homogenizado fue agitado ligeramente y se dejó reposar durante 15 minutos. Las muestras fueron centrifugadas a 2500 rpm durante 15 minutos en una centrífuga Eppendorf refrigerada. La concentración de los grupos tiol libres fue medida espectrofotométricamente a 412 nm y fue calculada utilizando un coeficiente de absorción de 13,6 mM⁻¹cm⁻¹. La concentración de proteínas fue determinada por espectrofotometría a 280 nm utilizando albúmina de suero bovina como estándar. Las medidas fueron realizadas por triplicado para cada muestra, y sus valores medios fueron utilizados para su posterior análisis estadístico. Los resultados se expresaron como nmoles de tioles libres por mg de proteína.

III.2.6- Contenido de vitamina E

La extracción de la grasa de las muestras tanto de carne como de embutidos se llevó a cabo mediante el método Folch (1957). Para ello, se pesaron 30 gr de muestra a los cuales se añadió 60 ml de triclorometano-metanol (2:1) y se homogeneizaron en omnimixer durante un minuto. Se filtró el contenido a vacío y se repitió de nuevo la operación. La grasa disuelta en el triclorometano-metanol, se llevó a un embudo de decantación al que se añadió 50 ml de cloruro potásico. A continuación, se agitó vigorosamente y se dejó reposar 24 horas hasta la decantación de la muestra. Se recogió la fase inferior decantada, que contiene la grasa, filtrándola a través de sulfato sódico anhidro. Finalmente, se evaporó el disolvente en rotavapor a 50°C y se completó la evaporación en una estufa a 60°C.

Los tocoferoles (o contenido de vitamina E) fueron evaluados mediante cromatografía líquida de alta resolución de fase reversa (RP-HPLC) (HPLC, Hewlett Packard Series 1100) utilizando el método AOCS Ce8-89 (1998). Para ello, con la grasa extraída de cada muestra se preparó una solución de grasa en hexano con una concentración de 50 mg/ml que se inyectó y analizó en una columna de gel de sílice Lichrosorb Si-60 (con un tamaño de partículas de 5 µm, y 250 mm × 4.6 mm de diámetro; Sugerlabor, Madrid, España). Las muestras fueron eluidas con hexano/2-propanol (98,5:1,5) con un caudal de 1 ml/min. Se utilizó un detector de fluorescencia (FL3000 Thermo Finnigan) con excitación y longitudes de onda de emisión fijados a 290 y 330 nm, respectivamente.

III.3.- Análisis sensorial de las muestras

El análisis sensorial de las muestras de presa ibérica descongelada y envasada en las distintas atmósferas de envasado se llevó a cabo en sala de catas del Instituto Tecnológico Agroalimentario (Intaex).

El panel de catadores estuvo compuesto por 8 miembros, llevándose a cabo previamente varias sesiones de entrenamiento para familiarizar a los jueces con los atributos a evaluar y la escala a usar. El análisis sensorial se llevó a las 12:00 horas aproximadamente. Se controlaron la iluminación y temperatura ambiente ajustándola a una temperatura constante de 23°C.

La carne de cerdo fue cortada en filetes y cada uno de ellos fue cocinado en un grill eléctrico a 200°C durante 1,5 minutos por cada lado hasta que las muestras alcanzaron una temperatura interna de 70°C. A continuación, cada filete fue cortado en cuatro porciones e inmediatamente servidas en un plato de cristal. A cada juez se le proporcionó un vaso con aproximadamente 100 ml de agua entre muestra y muestra.

Todas las sesiones fueron realizadas en una sala de cata con ocho cabinas individuales equipadas con luz fluorescente blanca (220-230V, 35 W) y un ordenador personal. Se utilizó el programa informático Fizz Network (versión 2.45A, BIOSYSTEMES) para preparar y llevar a cabo el test. La intensidad de cada atributo fue cuantificada por los miembros del panel utilizando una escala no estructurada de 10 cm, de menor (0 cm) a mayor intensidad (10 cm). Los atributos sensoriales, definiciones y extremos se explican en la tabla III.3. El cuestionario presentado se muestra en la figura III.9.

Tabla III.3.- Atributos sensoriales evaluados en las muestras de “presa” Ibérica, definiciones y extremos

Atributos Sensoriales	Definición
TEXTURA	
Terneza	Facilidad para comprimir el magro entre los dientes frontales y provocar cierto grado de deformación 0=poco tierno;10=muy tierno)
Jugosidad	Sensación de lubricación durante la masticación (0=no jugoso;10=muy jugoso)
Fibrosidad	Grado en el que las fibras se perciben en las primeras fases de masticación (0=no fibroso;10=muy fibroso)
AROMA	
Aroma “a cerdo”	Intensidad de aroma típico de la carne de cerdo (0=poco aroma;10=muy intenso)
GUSTO	
Rancidez	Nivel de gusto a rancio (0=no rancio;10=muy rancio)

En cuanto al análisis sensorial de los embutidos, éste se llevó a cabo en el laboratorio del Área de Tecnología de los Alimentos de Badajoz. Se controló la iluminación y temperatura ambiente de la sala ajustándola a una temperatura constante de 23°C y el análisis sensorial se realizó a las 11:00 h aproximadamente. El panel de catadores estuvo compuesto por 12 miembros entrenados convenientemente y con experiencia en evaluación sensorial de embutidos crudos curados. Las catas se llevaron a cabo sobre 3 rodajas de cada pieza de embutido (n=3) y los atributos (tabla III.4) a evaluar fueron color rojo, intensidad de olor, dureza, sequedad, jugosidad, salado, ácido, dulce, intensidad de aroma, aroma a curado y rancidez, tal y como se muestra en el cuestionario presentado mediante la figura III.10.

Tabla III.4.- Atributos sensoriales evaluados en las muestras de embutidos, definiciones y extremos

Atributos Sensoriales	Definición
EVALUACIÓN VISUAL	
Color rojo	Intensidad del color rojo (0=muy poco;10=mucho)
OLOR	
Intensidad	Intensidad del olor típico de los productos curados (0=muy poco olor;10=mucho olor)
TEXTURA	
Dureza	Fuerza requerida para comprimir la muestra entre los dientes frontales y provocar cierto grado de deformación (0=muy poca;10=mucha)
Sequedad	Cantidad de jugos presentes en la muestra durante las primeras fases de masticación (0=muy poco;10=mucho)
Jugosidad	Sensación de lubricación durante la masticación (0=muy poco;10=mucho)
GUSTO	
Salado	Nivel de gusto salado (0=muy poco;10=mucho)
Ácido	Nivel de gusto ácido (0=muy poco;10=mucho)
Dulce	Nivel de gusto dulce (0=muy poco;10=mucho)
AROMA	
Intensidad	Grado de aroma global (0=muy poco;10=mucho)
Aroma a curado	Intensidad de aroma típico de los productos curados (0=muy poco;10=mucho)
Rancidez	Intensidad de aroma rancio (0=muy poco;10=mucho)

Tipo de prueba : test descriptivo (Análisis Cuantitativo-Descriptivo)
 Nombre: _____
 Producto: Presa de Cerdo Ibérico
 Fecha: _____



A continuación se te van a presentar varias muestras Presa de Cerdo Ibérico:

Evalúa los siguientes parámetros sensoriales indicando en la escala, con una línea vertical, la intensidad de los mismos.

TEXTURA

Terneza Mínima Máxima
 ←-----→

Jugosidad Mínima Máxima
 ←-----→

Fibrosidad Mínima Máxima
 ←-----→

AROMA

Aroma "a cerdo" No perceptible Bóromadament
 intenso

Rancidez No perceptible Bóromadament
 intenso

COMENTARIOS QUE DESEAS AÑADIR: _____

MUCHAS GRACIAS

Figura III.9: Cuestionario de cata de "presa" al que fue sometido el panel de catadores.

recuento total de aerobios psicrófilos a 30°C durante 72 horas en PCA (según ISO 4833, julio 1991), *E. coli* en Cromocult, incubado a 44°C durante 24-48 horas, *Clostridium sulfito reductores* sobre placas de SPS incubadas 24 horas a 37°C, *Clostridium perfringens* en placas de TSC incubadas en jarra de anaerobiosis con Anaerocult A a 44°C durante 24-48 horas (según Norma UNE-EN 13401, abril 1999), *Staphylococcus aureus* en medio Baid Parker, a 37°C durante 24-48 horas y el recuento e investigación de *Salmonella* mediante preenriquecimiento en agua de peptona tamponada a 37°C 24 horas, posterior enriquecimiento en Selenito-Cistina 24 horas a 37°C y siembra en medio XLD y BPL a 37°C durante 24 horas (según ISO 6579, de 1993) en el ensayo de congelación de carne fresca.

Para el ensayo de envasado en atmósferas modificadas de embutidos, se realizaron las mismas determinaciones además del recuento de Bacterias Lácticas en placas de MRS agar, incubadas en anaerobiosis parcial durante 72 horas a 37°C y el recuento e investigación de *Listeria* mediante preenriquecimiento en Fraser ½, posterior enriquecimiento en caldo Fraser completo y siembra en placas de agar Oxford y agar Palcam (según ISO 11290-1, de 1997). El límite de detección para estas técnicas fue de 10 ufc/g. Los resultados obtenidos fueron anotados en unidades formadoras de colonia por gramo de producto (ufc/g) y transformados en unidades logarítmicas (log).

III.5.- Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el procedimiento GLM mediante el programa estadístico SPSS 13.0. El efecto del tiempo de almacenamiento o de las diferentes condiciones de envasado utilizadas se estudió mediante un análisis de la varianza de una vía (ANOVA). En los casos en los que el efecto de los factores estudiados fue significativo, las medias se compararon utilizando el test de Tukey ($P < 0.05$). Las relaciones entre las variables fueron calculadas también mediante el coeficiente de correlación de Pearson (SPSS, 13.0). Además, los valores de porcentaje de reflectancia de la superficie de la carne fueron analizados mediante el método SIMCA (Soft Independent Modeling of Class Analogy) utilizando el programa Unscrambler (CAMO, ASA, Oslo, Noruega), que establece un modelo de componentes principales para cada clase o categoría y donde los modelos correspondientes (también llamados modelos de clase desarticulados o cajas SIMCA) son desarrollados individualmente.

III.6- SIMCA

Los valores de porcentaje de reflectancia de la superficie de la carne fueron analizados mediante el método SIMCA (Soft Independent Modeling of Class Analogy) utilizando el programa Unscrambler (CAMO, ASA, Oslo, Noruega). El método SIMCA establece un modelo de componentes principales para cada clase o categoría y los modelos correspondientes (también llamados modelos de clase desarticulados o cajas SIMCA) son desarrollados individualmente. Las técnicas multivariantes de quimiometría, como el método SIMCA (Soft Independent Modelling of Class Analogy), son consideradas técnicas adecuadas para la detección de adulterantes en la carne (Meza-Márquez y col., 2010), la clasificación de vinos comerciales (Frías y col., 2003) o para el estudio del efecto de los tratamientos de altas presiones en el color del jamón (Andrés y col., 2004a).

Por un lado, en el presente trabajo se diferenciaron tres clases: a) carne fresca; b) carne almacenada en congelación durante 365 días y posteriormente descongelada y c) carne almacenada en congelación durante 547 días y posteriormente descongelada. Por otra parte, e independientemente se diferenciaron también otras tres clases, a) carne recién descongelada, b) carne almacenada en refrigeración/EAM durante 3 días y c) carne almacenada en refrigeración/EAM durante 7 días.

En el caso de los embutidos, se diferenciaron también varias clases; según el sistema de envasado: i) al vacío (Lote 1) ii) 70% N₂+ 30% CO₂ (Lote 2) iii) 100% N₂ (Lote 3) iv) 70% Argón + 30% CO₂ (Lote 4). Según el tiempo de almacenamiento: i) no envasado ii) envasado durante 6 meses, iii) envasado durante 9 meses y iv) envasado durante 12 meses en refrigeración a 4 °C .

SIMCA permite la evaluación de la capacidad de los modelos construidos para reconocer los objetos de su propia clase de categoría (sensibilidad) y la capacidad para rechazar a aquellos que no pertenecen a su categoría (especificidad).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1.- Músculo *Serratus ventralis* (“presa” Ibérica)

IV.1.1.- Color L*, a*, b*

Los valores de L*, a*, b*, chroma y hue durante el almacenamiento en congelación de la carne se muestran en la tabla IV.1. Los valores de a* variaron entre $13,55 \pm 0,38$ inicialmente hasta $13,70 \pm 0,51$ después de 547 días de almacenamiento en congelación. Estos son valores similares a los encontrados en la bibliografía para el músculo *Serratus ventralis* en cerdo y cordero (Cava y col., 2003; Tschirhart-Hoelscher y col., 2006, respectivamente). Los músculos están compuestos por varios tipos de fibras musculares las cuales tienen una tendencia diferente a la deposición de grasa intramuscular y una concentración distinta de pigmentos hemínicos, factores que influyen en el color de la carne. *Serratus ventralis* es un músculo de tipo glicolítico (Morcuende y col., 2003; Cava y col., 2003), por lo que posee una menor concentración de mioglobina e intensidad de color rojo que otros músculos de tipo oxidativo (Morcuende y col., 2003; Cava y col., 2003). Los valores de luminosidad inicial (L*) fueron de $32,93 \pm 0,76$ y aumentaron hasta valores de $33,76 \pm 0,82$ al final del periodo de almacenamiento, aunque no de forma estadísticamente significativa ($P > 0,05$). Se trata de valores más bajos que los encontrados en la bibliografía para el mismo tipo de músculo en fresco y congelado (Chmiel y col., 2011; Cava y col., 2003, respectivamente). Chroma varió entre $14,04 \pm 0,43$ inicialmente y $14,34 \pm 0,54$ tras su almacenamiento, siendo estos valores también ligeramente más bajos que los encontrados por Cava y col. (2003) en el mismo músculo, al contrario que Hue, cuyos valores ($15,04 \pm 0,59$ - $17,07 \pm 0,52$) fueron un poco más altos que los obtenidos por los mismos autores, indicando tonalidades menos rojas.

Efecto del tiempo de almacenamiento en congelación

El tiempo de almacenamiento prolongado en congelación, sólo afectó significativamente a los valores de ángulo de hue ($P < 0,05$). Hue mide el grado de desviación desde el eje de color rojo en el espacio CIE (Brewer y col., 2006). Un valor de Hue más bajo se relaciona con un color rojo mejor percibido visualmente (Palombo y Wijngaards, 1990). Nuestros valores de Hue mostraron un aumento progresivo durante el periodo de almacenamiento en congelación, desde $0,26 \pm 0,01$ en fresco hasta $0,30 \pm 0,01$ tras un año y medio en congelación ($P < 0,05$), indicando una

disminución de la intensidad de color rojo de la carne de presa a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento a -18°C . Otros estudios (Farouk y col., 2003; Vieira y col., 2009) también observaron que la carne de ternera descongelada mostraba mayores valores de hue (la intensidad del color rojo se reducía) con el tiempo de almacenamiento. Hue depende fundamentalmente del estado químico en que se encuentre la mioglobina, de tal manera que valores más bajos suponen que la proporción de mioglobina oxidada (metamioglobina) es menor (Üren y Babayiğit, 1997; Luño y col., 1998), y la cantidad de mioglobina en sus formas reducidas, mayor. Por tanto, el aumento del valor de hue en nuestro trabajo podría atribuirse a una disminución en la actividad de las enzimas que reducen la metamioglobina y por ello, a un mayor contenido de ésta o bien a un incremento en la oxidación de los lípidos con el tiempo de almacenamiento, lo cual podría haber favorecido la oxidación de la mioglobina y la pérdida de intensidad de color rojo en la presa.

Tabla IV.1: Evolución de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* C y h (media \pm error estándar), en músculo *Serratus ventralis* fresco (día 0), y congelado durante 1 año (365 días) y un año y medio (547 días), así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días.

Tiempo congelación (días)	Almacenamiento EAM(días)	L^*	a^*	b^*	Chroma	Hue
Fresco	0	$32,93 \pm 0,76$	$13,55 \pm 0,38$	$3,66 \pm 0,24$	$14,04 \pm 0,43$	$0,26^{12} \pm 0,01$
1 año	0	$31,88c \pm 0,82$	$13,14c \pm 0,57$	$3,40b \pm 0,30$	$13,58c \pm 0,63$	$0,25b^2 \pm 0,01$
	3	$45,46a \pm 1,61$	$17,01b \pm 0,62$	$9,49a \pm 0,42$	$19,53b \pm 0,65$	$0,51a \pm 0,02$
	7	$39,20b \pm 1,07$	$19,76a \pm 0,49$	$10,55a \pm 0,45$	$22,41a \pm 0,62$	$0,49a \pm 0,01$
	$P_{\text{día}}$	***	***	***	***	***
1 año y medio	0	$33,76 \pm 0,82$	$13,70 \pm 0,51$	$4,21 \pm 0,21$	$14,34 \pm 0,54$	$0,30^1 \pm 0,01$
	3	$33,97 \pm 0,87$	$13,93 \pm 0,48$	$4,12 \pm 0,29$	$14,54 \pm 0,53$	$0,28 \pm 0,01$
	7	$33,37 \pm 0,53$	$15,25 \pm 0,78$	$4,44 \pm 0,28$	$15,9 \pm 0,8$	$0,28 \pm 0,01$
	$P_{\text{día}}$	ns	ns	ns	ns	ns
$P_{\text{congelación}}$		ns	ns	ns	ns	*

Niveles de significación: ns= ≥ 0.05 : *= $p < 0.05$: **= $p < 0.01$: ***= $p < 0.001$.

a,b,c: Diferentes letras en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, $p < 0.05$, test de Tukey.

1,2,3, : Diferentes superíndices en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre tiempo de congelación, test de Tukey

En la tabla IV.1 puede observarse que los valores de luminosidad L^* tras 547 días de almacenamiento fueron incluso mayores que los de la carne fresca, aunque no se alcanzaron valores de significación estadística ($P>0,05$). La luminosidad de la superficie de la carne se relaciona por un lado con el grado de engrasamiento de la carne y por otro con la cantidad de pigmento en la misma (Andrés y col., 2000). La presencia de exudado o agua en la superficie de la misma también podría ser la razón de una mayor reflexión de la luz incidente y mayores valores de luminosidad registrados en este trabajo. La congelación produce daño en la estructura de las células debido a la formación de cristales de hielo así como la desnaturalización de las proteínas del músculo, lo cual provoca un aumento de las pérdidas de agua y por tanto mayor cantidad de agua libre. Esto se traduce en una mayor reflexión de la luz y un color más claro de la carne (Akamittath y col., 1990; Farouk y col., 2003). Otros autores (Sebranek y col., 1979; Farouk & Wieliczko, 2003; Fernandez y col., 2007) obtuvieron resultados similares a los del presente trabajo en sus estudios de congelación al comparar carne de ternera fresca y carne de ternera descongelada después de un tiempo de almacenamiento en congelación de hasta 365 días. Por el contrario, algunos autores han observado que la congelación reducía los valores de L^* de la carne envasada a vacío y congelada (Moore & Young, 1991), si bien en este trabajo el tiempo de congelación no superó los 90 días (Moore & Young, 1991; Farouk & Swan, 1998; Vieira y col., 2009).

Con respecto a la evolución de la intensidad del color rojo (a^*), como se ha comentado anteriormente, no se apreciaron diferencias significativas entre la carne fresca y la descongelada ($P>0,05$). Croma o saturación del color siguió una evolución similar a la explicada para a^* . Este parámetro representa la viveza del color de la superficie del producto (Pohlman y cols., 1997), por lo que puede decirse que el periodo de almacenamiento en congelación no afecta a la intensidad del color registrado con los parámetros mencionados en las condiciones de nuestro estudio.

Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración/EAM

La evolución de los valores de L^* , a^* , b^* , chroma y hue durante el almacenamiento de la carne descongelada en atmósferas modificadas durante 3 y 7 días también se muestran en la tabla IV.1. Los valores iniciales de L^* en la superficie de las muestras fueron $31,88 \pm 0,82$ y $33,76 \pm 0,82$ tras un año y un año y medio en congelación respectivamente. En el caso de las muestras congeladas durante un año, este valor aumentó significativamente tras 7 días de almacenamiento en refrigeración

envasadas en atmósferas modificadas ($P < 0,001$), mientras que se mantuvo estable en la muestras congeladas durante año y medio ($P > 0,05$). Varios autores han obtenido un aumento de la luminosidad en diferentes carnes y productos cárnicos durante su almacenamiento en refrigeración (Kusmider y col., 2002; Fernández-López y col.; 2006; Fernández-López y col., 2008), observando que las muestras con CO en el espacio de cabeza eran las que presentaban mayores valores de luminosidad en comparación con otras mezclas.

Los valores de a^* en las muestras variaron desde $13,14 \pm 0,57$ hasta $19,76 \pm 0,49$ y desde $13,70 \pm 0,51$ hasta $15,25 \pm 0,78$ tras 7 días almacenadas en atmósferas modificadas para las muestras de carne congelada durante un año y un año y medio respectivamente. La estabilización del color rojo de la carne durante varias semanas mediante el envasado con monóxido de carbono ha sido ampliamente documentada en carne de cerdo y ternera (Luño y col., 1998; Sørheim y col., 1999; Luño y col., 2000). El mantenimiento e incluso aumento de la intensidad del color rojo en el presente estudio puede ser debido a la presencia de monóxido de carbono en la mezcla de gases, ya que se forma carboximioglobina durante el almacenamiento de la carne debido a que las moléculas de deoximioglobina están disponibles para ligarse con el monóxido de carbono (Jeong y col., 2010). La carboximioglobina es más estable a la oxidación que la oximioglobina y proporciona un atractivo color rojo a la carne (Luño y col., 1998). Resultados similares encontraron De Santos y col. (2007) durante el almacenamiento con monóxido de carbono de chuletas de cerdo (0,36% CO). Clark y col. (1976) concluyeron que concentraciones de monóxido de carbono de entorno al 0,5% en carne de ternera envasada producían un notable aumento en la intensidad del color rojo. Además, el monóxido de carbono puede proteger a la carne del efecto perjudicial sobre el color de las bajas concentraciones de oxígeno (1-3%) (Martínez y col., 2005). En otros estudios sobre envasado de carne fresca con CO₂, N₂ o argón (Sorheim y col., 1996, 1999; Tremonte y col., 2005; Martinez y col., 2006; Ruiz-Capillas y Jiménez-Colmenero, 2010), los valores de a^* permanecieron constantes a lo largo del almacenamiento, lo cual también sugiere que el envasado en atmósferas modificadas juega un papel protector en relación con los cambios en el color (Ruiz-Capillas y Jiménez-Colmenero, 2010). Por el contrario, otros autores observaron una disminución de la intensidad del color rojo a lo largo del almacenamiento de carne de avestruz envasada tanto al vacío como en atmósferas que contenían argón y monóxido de carbono en la mezcla de gases (Fernández-López y col., 2008).

En cuanto al valor del parámetro b^* o relación entre amarillo/azul, los valores iniciales aumentaron significativamente desde $3,40 \pm 0,30$ hasta $10,55 \pm 0,45$ tras 7 días de envasado para las muestras congeladas durante un año ($p < 0,001$) y de forma no significativa desde $4,21 \pm 0,21$ hasta $4,44 \pm 0,28$ para aquellas congeladas durante año y medio. Resultados similares encontraron Berruga y col. (2005) al envasar carne de cordero tanto al vacío como en atmósferas que contenían altas concentraciones de CO_2 e Insausti y col. (2001) en carne de bovino envasada con 60% O_2 , 30% CO_2 y 10% N_2 . Por el contrario, Seydim y col. (2006), obtuvieron una disminución de los valores de b^* en carne picada de avestruz envasada al vacío y en atmósferas que contenían 80% $\text{N}_2 + 20\% \text{O}_2$ y 20% $\text{CO}_2 + 80\% \text{N}_2$, tras 9 días de almacenamiento en refrigeración.

La evolución de los valores de chroma fue similar a la del parámetro a^* . Chroma aumentó significativamente tras 7 días de almacenamiento desde $13,58 \pm 0,63$ hasta $22,41 \pm 0,62$ en las muestras congeladas durante un año ($p < 0,001$) y de forma no significativa ($p > 0,05$) desde $14,34 \pm 0,54$ hasta $15,90 \pm 0,80$ en aquellas congeladas durante año y medio. Otros autores como Wilkinson y col. (2006) han obtenido resultados similares, ya que el uso de 0,4% CO aumentó la intensidad y viveza (valor más alto de chroma) del color de la carne de cerdo. Luño y col. (1998) también obtuvieron un aumento de la estabilidad de chroma y hue en lomo de ternera envasado durante 30 días con el uso de un 1% de CO en la mezcla de gases. Sørheim y col. (2001) también concluyeron que entre un 0,4 y un 1% de CO era suficiente para obtener un deseable, atractivo y duradero color en la carne envasada. Como se ha comentado, la mayor estabilidad del color de la carne envasada con monóxido de carbono deriva de la gran afinidad de este gas por la mioglobina así como del hecho de que el monóxido de carbono reduce la formación de metamioglobina y la oxidación de la grasa (Richardson, 2003). Por el contrario, la inclusión de CO en el envasado de carne de ternera no tuvo ningún efecto sobre el parámetro chroma en los ensayos realizados por Seyfert y col. (2007).

Con respecto a los valores de Hue, éstos aumentaron significativamente durante el almacenamiento en atmósferas modificadas en las muestras congeladas durante un año ($p < 0,001$), mientras que no existieron diferencias en aquellas congeladas durante año y medio. Estos resultados indicaron tonos ligeramente menos rojos (que se aproximan más al verde cuanto más alto es el valor de Hue).

IV.1.2.- Análisis espectral de los estados químicos de la mioglobina

Las medidas de porcentaje de reflectancia de la superficie de la carne están directamente relacionadas con la percepción visual del color de la carne (Hunt y col., 1991; Fernández-López, 1998). Las medidas de reflectancia se ven afectadas por la estructura del músculo, la humedad de la superficie, el contenido de grasa y la concentración de pigmentos (Snyder, 1965). Algunos de estos efectos pueden ser corregidos mediante la utilización de ratios de reflectancia a diferentes longitudes de onda, capaces de estimar las proporciones relativas de los pigmentos hemínicos esenciales responsables del color (Hunt y col., 1991; AMSA, 2011). El método de reflectancia evita los errores debidos a la extracción y es rápido y poco invasivo, puesto que el análisis se realiza sin destruir la muestra (Martín-Sánchez y col., 2010).

En las figuras IV.1 y IV 2 respectivamente se presentan gráficamente los valores de reflectancia (%) y absorbancia desde 360 hasta 740 nm en las muestras obtenidas como se ha explicado en el apartado III.2.2. de material y métodos de músculo *Serratus ventralis* con un 100% de cada una de las especies de mioglobina. Estas muestras se prepararon en el presente estudio para poder realizar la estimación de la concentración de pigmento (apartado III.2.2.), ya que, como se ha comprobado en estudios anteriores (Hunt, 1980; Mancini y col., 2003; Ramanathan y col., 2010), las muestras referencia deben ajustarse a las condiciones específicas de cada experimento. En ellas se constatan las longitudes de onda isobélicas de la mioglobina, que son aquellas para las que las reflectancias/absorbancias de dos o más de las tres formas de la mioglobina son las mismas. La deoximioglobina puede determinarse en 473 nm, punto isobélico de oxi- y metamioglobina; la oximioglobina a 610 nm, punto isobélico de deoxi- y metamioglobina, y la metamioglobina a 572 nm, punto isobélico de oxi- y deoximioglobina. El punto isobélico de todas las especies de mioglobina, 525 nm, a menudo se utiliza para eliminar las diferencias en el contenido de mioglobina entre muestras de diferentes carnes (Lindahl, 2005).

Como se ha comentado en el apartado III.2.2 de material y métodos, no existe un método descrito para estimar el contenido en carboximioglobina, que sería el principal pigmento encontrado en las muestras de este trabajo teniendo en cuenta la atmósfera de envasado (30% CO₂, 69,6 %de argón, y 0.4% de CO). No obstante, hemos aplicado una metodología basándonos en que es muy difícil diferenciar espectralmente carboximioglobina y oximioglobina (Gee & Brown, 1978). Por consiguiente, en el resto del texto, hablaremos de oximioglobina, pero en realidad se

parte del supuesto de que la ausencia de oxígeno y la presencia de monóxido de carbono da lugar a la formación de carboximioglobina.

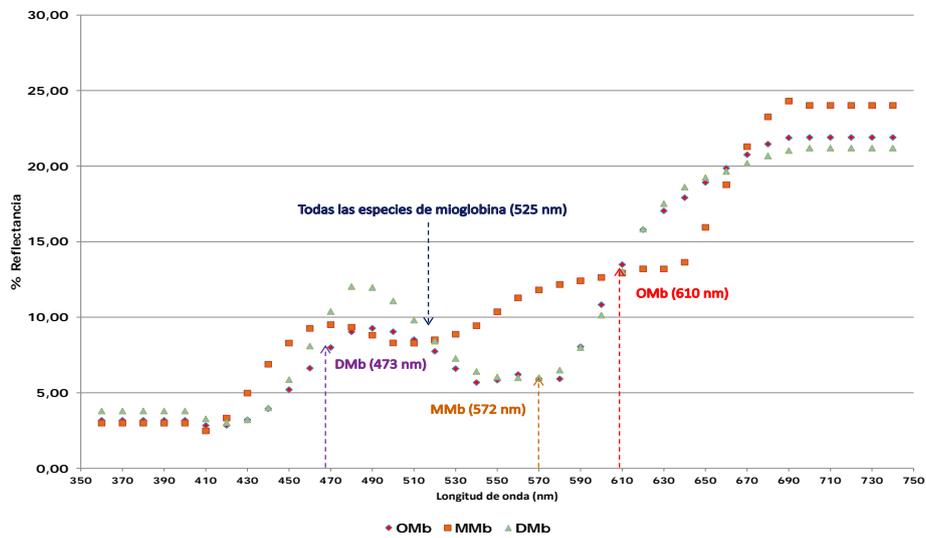


Figura IV.1: Cambios espectrales en reflectancia desde 360 a 740 nm de muestras de *Serratus ventralis* ("presa") con 100 % de oximioglobina (OMb), 100 % de metamioglobina (MMb) y 100% de deoximioglobina (DMb).

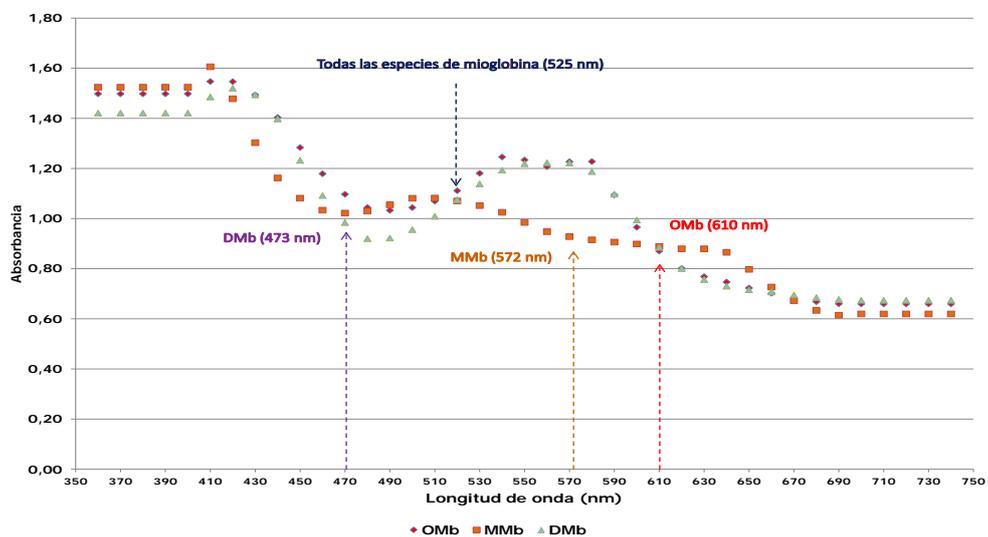


Figura IV.2: Cambios espectrales en absorbancia desde 360 a 740 nm de muestras de *Serratus ventralis* ("presa") con 100 % de oximioglobina (OMb), 100 % de metamioglobina (MMb) y 100% de deoximioglobina (DMb).

En las tablas IV.2 y IV.3 pueden observarse los valores de reflectancia (%) y absorbancia totales así como los coeficientes y ratios K/S a longitudes de onda isobésticas, respectivamente, en las muestras de carne fresca con el 100% de cada una de las formas redox de la mioglobina. Como se aprecia en la tabla IV.2, no existieron diferencias significativas en la cantidad de luz reflejada ni en la cantidad de luz absorbida de las diferentes especies de la mioglobina.

Tabla IV.2: Valores de reflectancia* (%) y absorbancia[▶] totales en muestras de *Serratus ventralis* ("presa") con 100 % de oximioglobina (OMb), 100 % de metamioglobina (MMb) y 100% de deoximioglobina (DMb).

	Especies de mioglobina			P
	100% OMb	100% MMb	100% DMb	
% Reflectancia	11,15 ± 0,29	12,33 ± 0,48	11,53 ± 0,42	ns
Absorbancia	0,96 ± 0,01	0,91 ± 0,02	0,94 ± 0,01	ns

Niveles de significación: ns=P>0.05

*Reflectancia total= $(\sum R_{360}-R_{740} \div 38)$; representa la cantidad de luz reflejada desde la superficie de la muestra.

▶ Absorbancia total= $(\sum A_{360}-A_{740} \div 38)$; representa la cantidad de luz absorbida por la superficie de la muestra.

En cuanto a los coeficientes K/S a 474, 525, 572 y 610 nm para cada una de las formas redox de la mioglobina, existen diferencias significativas en todas las longitudes de onda excepto para el K/S (610) entre las diferentes especies de la mioglobina (P<0,000, P<0,01 y P<0,000), mientras que los ratios K/S presentan todas diferencias significativas entre las tres formas redox de la mioglobina, tal y como se puede observar en la tabla IV.3. Estos ratios disminuyen a medida que el contenido relativo de la correspondiente especie de mioglobina aumenta (Castro-Giraldez y col., 2010; Lagerstedt y col., 2011). Respecto a los resultados del análisis espectral en muestras de *Serratus ventralis* ("presa"), las figuras IV.3 y IV.4 muestran el espectro de reflectancia y absorbancia respectivamente en dichas muestras almacenadas durante un año y un año y medio en congelación y descongeladas posteriormente. Se puede apreciar que la reflectancia de las muestras almacenadas en congelación durante un año (365) era menor que la de las no congeladas (fresco) y las congeladas un año y medio (547) (y lo contrario para absorbancia, lógicamente).

Tabla IV.3.- Valores de reflectancia (%), absorbancia y coeficientes K/S* en muestras de *Serratus ventralis* ("presa") con 100 % de oximioglobina (OMb), 100 % de metamioglobina (MMb) y 100% de deoximioglobina (DMb).

	Especies de mioglobina			P
	100% OMb	100% MMb	100% DMb	
K/S (474)	5,04 ± 0,17 ¹	4,54 ± 0,20 ¹	3,74 ± 0,20 ²	0.000
K/S (525)	6,16 ± 0,21 ¹	5,05 ± 0,25 ²	5,71 ± 0,28 ¹²	0.010
K/S (572)	7,66 ± 0,26 ¹	3,55 ± 0,24 ²	7,78 ± 0,38 ¹	0.000
K/S (610)	2,84 ± 0,12	3,06 ± 0,15	3,00 ± 0,13	0.499
K/S 474/525	0,82 ± 0,01 ²	0,90 ± 0,01 ¹	0,65 ± 0,01 ³	0.000
K/S 572/525	1,24 ± 0,01 ²	0,69 ± 0,02 ³	1,36 ± 0,00 ¹	0.000
K/S 610/525	0,46 ± 0,01 ³	0,61 ± 0,01 ¹	0,53 ± 0,01 ²	0.000

*K/S calculados como $(1-R)^2/2R$, donde R representa los valores de reflectancia en decimales.

Niveles de significación: * = P < 0.05; *** = P < 0.001

^{1,2,3}: diferentes superíndices indican diferencias significativas entre muestras con 100% de OMb, 100% MMb y 100% de DMb, P < 0.05, test de Tukey.

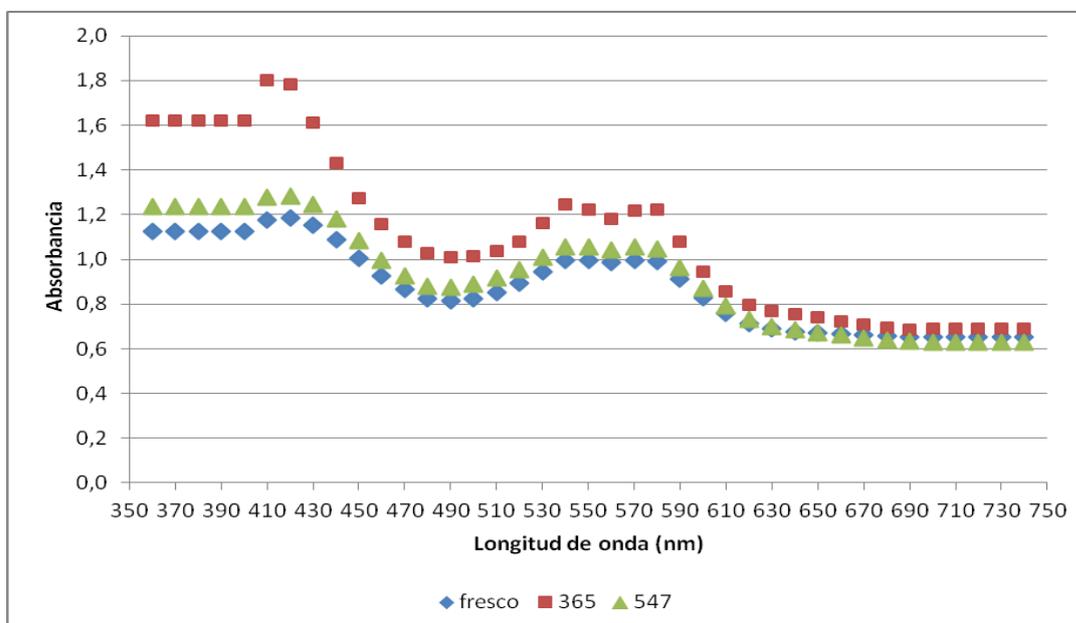


Figura IV.3: Cambios espectrales en absorbancia desde 360 a 740 nm de muestras de *Serratus ventralis* ("presa") fresca ("Fresco"), congelada-descongelada durante un año ("365") y congelada-descongelada durante un año y medio ("547").

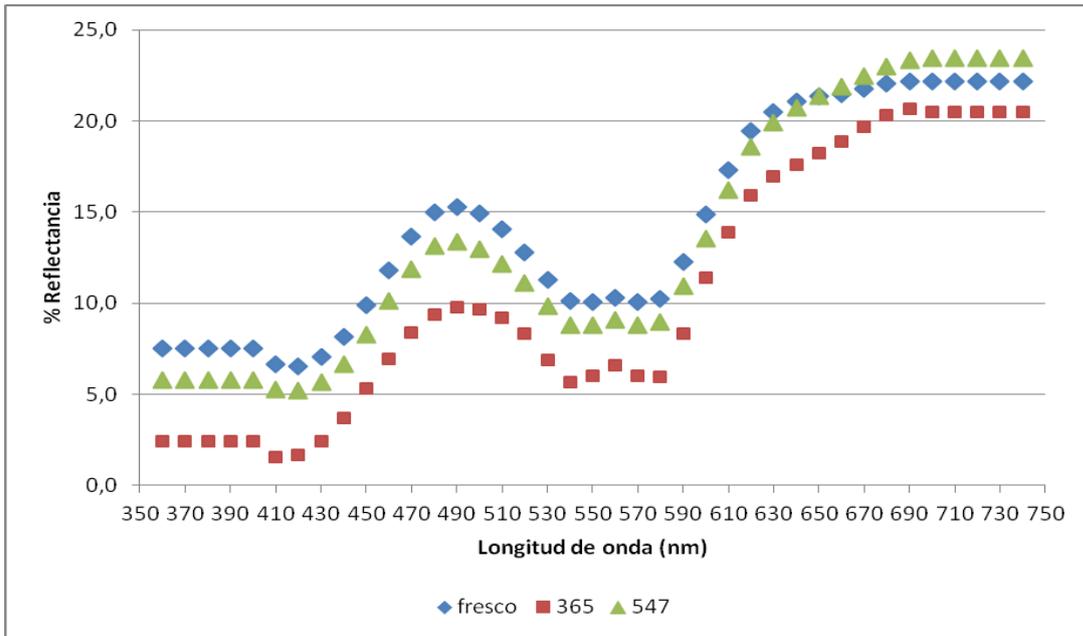


Figura IV.4: Cambios espectrales en reflectancia desde 360 a 740 nm de muestras de *Serratus ventralis* ("presa") fresca ("Fresco"), congelada-descongelada durante un año ("365") y congelada-descongelada durante un año y medio ("547").

Los resultados gráficos se constataron estadísticamente, como puede verse en la tabla IV.4. En esta tabla puede observarse que el porcentaje de reflectancia total disminuyó desde valores de $14,56 \pm 0,43$ en la carne fresca hasta $10,73 \pm 0,73$ tras un año en congelación (365) para volver a aumentar después de un año y medio (547) congelada aunque sin llegar a los valores iniciales, mientras que, lógicamente, con el valor de absorbancia ocurría al contrario, aumentaba tras un año en congelación para volver a disminuir al final del periodo de almacenamiento hasta valores similares a los de la carne fresca.

Tabla IV.4: Efecto del tiempo en congelación (fresco, un año y un año y medio) sobre los valores de reflectancia (%) y absorbancia de muestras de *Serratus ventralis* ("presa").

Tiempo congelación (días)	Almacenamiento EAM(días)	%Reflectancia [‡]	Absorbancia [†]
Fresco	0	14,56 ¹ ± 0,43	0,84 ² ± 0,01
	0	10,73 ² ± 0,73	0,98 ¹ ± 0,03
1 año	3	9,75 ± 0,62	1,02 ± 0,03
	7	10,26 ± 0,47	1,00 ± 0,02
	P _{día}	ns	ns
1 año y medio	0	13,75 ¹ ± 0,43	0,86 ² ± 0,01
	3	13,24 0,72	0,89 0,02
	7	13,22 0,47	0,88 0,02
	P _{día}	ns	ns
P _{congelación (Día 0)}		***	***

Niveles de significación:*=P<0.05;***=P<0.001

^{1,2,3}: diferentes superíndices en distintos días de almacenamiento en congelación, indican diferencias significativas entre lotes, P<0.05, test de Tukey.

*Reflectancia total=($\Sigma R_{360}-R_{740} \div 38$); representa la cantidad de luz reflejada desde la superficie de la muestra.

†Absorbancia total=($\Sigma A_{360}-A_{740} \div 38$); representa la cantidad de luz absorbida por la superficie de la muestra.

La disminución de la reflectancia total (R) de la superficie de la carne de presa descongelada después de un año de almacenamiento en congelación (365), indica menos brillo y por tanto un oscurecimiento de la misma. Los descensos en los valores de reflectancia se relacionan con una estructura muscular más cerrada, una mayor capacidad de retención de agua y una menor difusión del oxígeno hacia proteínas intracelulares (Ramanathan y col., 2010). El posterior aumento de la reflectancia tras un año y medio en congelación podría deberse a posibles mayores daños en la estructura de las células musculares, producidos por un tiempo de congelación más prolongado y como consecuencia de la formación de cristales de hielo, que ocasionan ruptura de fibras musculares, desnaturalización de proteínas, pérdida de la capacidad

de retención de agua, y por lo tanto, un aumento de la cantidad de agua libre en la superficie después de su congelación (Akamittath y col., 1990; Farouk y col., 2003). No se han encontrado en la bibliografía científica estudios similares con los que poder contrastar los resultados obtenidos. Los resultados obtenidos en la medición de la reflectancia coinciden con la evolución de la luminosidad (L^*) (aunque como se ha comentado, no se alcanzaron valores de significación estadística para este parámetro), a lo largo del almacenamiento de la carne en congelación (apartado IV.1.1), si bien no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre estos parámetros ($P > 0.05$).

Respecto a la evolución de la reflectancia y absorbancia total durante el almacenamiento en refrigeración/EAM de muestras de *Serratus ventralis* en la tabla IV.4 puede observarse que en ambos tiempos de congelación, la reflectancia y la absorbancia total no variaron durante el almacenamiento de las muestras en la mezcla de gases utilizada. De la misma forma, autores como Mancini y col. (2005), encontraron que la curva de reflectancia obtenida en chuletas de ternera envasadas en atmósferas con un 100% de N_2 durante 7 días no se vio en general afectada.

Por otra parte, en la tabla IV.5 se muestran los valores del índice de oxigenación (R630/R580) calculados en las muestras de *Serratus ventralis* ("presa") congeladas durante un año y un año y medio y posteriormente descongeladas. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas a lo largo del periodo de congelación. Este índice permite estimar la proporción relativa de oxi- y deoximioglobina; así, cuando el valor del índice R630/R580 es elevado, indica un color más rojo en las muestras debido a una mayor proporción de oxi- y deoximioglobina que de metamioglobina (Pietrasik y Janz, 2009; Martín-Sánchez y col., 2010). En nuestro estudio, se puede observar que el índice R630/R580 aumentó después de 365 días de almacenamiento en congelación, aunque volvió a bajar hasta valores similares a los registrados inicialmente tras 547 días de almacenamiento en congelación ($P < 0,001$). Las diferencias de la intensidad del color rojo que existen aparentemente al medir R630/R580, no fueron sin embargo patentes cuando se utilizó como parámetro de medida el espacio de color CIELab (a^*). No obstante, se observó una correlación significativa entre este parámetro y R630/R580 ($R = 0,505$; $P < 0,001$). Otros autores (Filgueras y col., 2011), también observaron una correlación positiva entre a^* y R630/R580 al estudiar el efecto del almacenamiento en congelación de carne de ñandú a lo largo de 180 días, encontrando una decoloración de la carne y una disminución del índice R630/R580.

Respecto a la evolución de este índice durante el almacenamiento en refrigeración/EAM de muestras de *Serratus ventralis*, en la tabla IV.5 puede observarse que el índice de oxigenación (R630/R580) aumentó de forma significativa ($p < 0,01$) durante el envasado de las muestras de presa que habían sido congeladas un año, mientras que se mantuvo estable en las muestras que habían permanecido congeladas un año y medio. Esta evolución coincide con lo explicado en el apartado IV.1.1 respecto a la evolución de a^* ($R=0,505$; $P < 0,001$). Mancini y col. (2009) obtuvieron un incremento del ratio (R630/R580) en filetes de ternera durante los 5 primeros días de almacenamiento envasados en una mezcla de gases que contenía 0.4% CO, 30% CO₂ y 69.6% N₂, mientras que el aumento del tiempo de almacenamiento hasta 9 días no tuvo ningún efecto en los valores del mismo.

Tabla IV.5.- Valores del índice de oxigenación (630/580), coeficientes K/S* , y estimación de contenidos en oximioglobina y metamioglobina, en músculo *Serratus ventralis* ("presa") fresco (día 0), y congelado durante 1 año (365 días) y un año y medio (547 días), así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días.

Tiempo (días)	EAM (días)	630/580	K/S 474	K/S 525	K/S 572	K/S 610	K/S 474/525	K/S 572/525	K/S610/525	%OMb	%MMb
Fresco	0	2,02 ² ± 0,05	2,61b±0,09	3,27b±0,12	4,10b±0,17	2,01b±0,08	0,80±0,01	1,25 ² ±0,01	0,62 ¹ ±0,01	84,21 ² ±0,97	15,79 ¹ ±0,97
1 año	0	3,04b ¹ ± 0,15	5,22a±0,47	6,45a ² ±0,63	8,60a ² ±0,88	2,95a±0,28	0,82b ±0,01	1,32 ¹ ±0,02	0,47a ³ ±0,01	91,68b ¹ ±1,96	8,32a ² ±1,96
	3	3,88a± 0,21	6,34 ± 0,51	9,01 ¹ ±0,75	12,13 ¹ ±1,12	3,11±0,24	1,28a±0,02	1,33±0,02	0,35b±0,02	93,26a±2,33	6,74b±2,33
	7	3,65a ± 0,12	5,73 ± 0,36	7,75 ¹² ±0,51	10,29 ¹² ±0,71	2,95±0,24	1,30a±0,01	1,32±0,01	0,38b±0,01	93,49a±1,86	6,51b±1,86
	P _{día}	**	ns	*	*	ns	***	ns	***	*	*
1 año y medio	0	2,25 ² ± 0,07	3,17b±0,19	3,95b±0,21	4,88b±0,26	2,23b±0,11	0,80a ±0,01	1,23a ² ±0,01	0,57 ² ±0,02	81,07 ² ±1,76	18,93 ¹ ±1,76
	3	2,17 ± 0,04	3,27 ± 0,19	4,35±0,27	5,21±0,33	2,48±0,21	0,76b ±0,01	1,18b±0,01	0,56±0,02	75,69±0,83	24,31 ¹ ±0,83
	7	2,33 ± 0,07	3,36 ± 0,18	4,42±0,22	5,35±0,26	2,33±0,14	0,76b ±0,01	1,20b±0,01	0,53±0,02	77,70±1,31	22,30 ² ±1,31
	P _{día}	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns
P _{congelación}		***	***	***	***	**	ns	***	***	***	***

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, $p < 0.05$, test de Tukey.

^{1,2,3}: diferentes superíndices en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre tiempo de congelación, test de Tukey .

*K/S calculados como $(1-R)^2/2R$, donde R representa los valores de reflectancia en decimales.

En lo que respecta a los coeficientes K/S calculados para las muestras en estudio, los resultados se muestran también en la tabla IV.5. Como se puede observar, el ratio $K/S_{610} \div K/S_{525}$ (que indica una estimación de la oximioglobina) disminuyó después del primer año de congelación (365) para después volver a aumentar tras un año y medio (547), aunque sin superar los valores iniciales, lo que significa que la estimación del contenido de oximioglobina aumentó significativamente ($P < 0,001$) tras 365 días de almacenamiento en congelación para disminuir al final del periodo de almacenamiento. Esta evolución coincide con lo explicado para el índice de oxigenación, y de hecho, se ha calculado un coeficiente de correlación significativo entre estas dos variables ($R = -0,909$; $P < 0,001$). Esta disminución del contenido de oximioglobina puede haber sido causada por una disminución de la actividad reductora enzimática sobre la mioglobina debido al proceso de congelación/descongelación y consecuente incremento del contenido de metamioglobina durante el almacenamiento (Filgueras y col., 2011). Jeong y col. (2011) sugieren que el proceso de descongelación podría ocasionar una menor solubilidad del oxígeno en los tejidos, lo cual provocaría una disminución del contenido de oximioglobina en la superficie de la carne. El ratio $K/S_{610} \div K/S_{525}$ mostró una correlación estadísticamente significativa con a^* ($R = -0,598$; $P < 0,001$), ya que valores ascendentes de $K/S_{610} \div K/S_{525}$ indican valores descendentes de la estimación del contenido en oximioglobina.

El ratio $K/S_{474} \div K/S_{525}$, que indica el contenido de deoximioglobina, se mantuvo estable durante la congelación de las muestras ($P > 0,05$). Según Abdallah y col. (1999), la menor conversión de deoximioglobina a oximioglobina en las muestras congeladas-descongeladas podría deberse a la desnaturalización de la molécula de globina del pigmento durante la congelación, ya que Calvelo (1981) observó que durante el almacenamiento en congelación tienen lugar la desnaturalización de proteínas, recristalización y oxidación.

En cuanto a la estimación del contenido en metamioglobina, representado por el ratio $K/S_{572} \div K/S_{525}$, disminuyó tras 365 días de almacenamiento de la carne en congelación y aumentó posteriormente al final del periodo de almacenamiento, sin alcanzar los valores iniciales ($P < 0,001$). El aumento de la estimación del contenido de metamioglobina podría deberse, como se ha mencionado, a que disminuye la actividad de determinadas enzimas encargadas de reducir la metamioglobina, por lo que ésta comienza a acumularse en la superficie de la carne (Leygonie y col., 2012b, Filgueras y col., 2011; Abdallah y col., 1999). En la carne fresca, esta enzima es muy activa y rápidamente reduce la metamioglobina formada a deoximioglobina y ésta a

oximioglobina, por lo que mantiene el color rojo brillante (Leygonie y col., 2011). Los resultados obtenidos en este trabajo están de acuerdo con los descritos por otros autores en carne de ternera (Jeong y col., 2011; Abdallah y col., 1999) y de ñandú (Filgueras y col., 2011), que observaron un aumento del contenido de metamioglobina tras el proceso de congelación. La transformación de oximioglobina a metamioglobina disminuye los valores de los parámetros que determinan el color rojo en la carne. Fernández y col. (2007) sugieren que la carne almacenada durante largos periodos de tiempo presenta mayor disminución de la intensidad de color rojo que la carne almacenada durante menos tiempo, probablemente debido a la disminución de la actividad de la enzima encargada de reducir la metamioglobina. Esta reducción en la actividad de la enzima es más intensa a medida que se incrementa el periodo de almacenamiento en congelación (Farouk & Swan, 1998).

En la tabla IV.5 se muestran también las estimaciones de los porcentajes de oximioglobina y metamioglobina en carne fresca y en carne congelada durante un año y durante un año y medio, calculados a partir de las reflectancias mediante el método detallado por AMSA, (2011). La estimación del porcentaje de oximioglobina en la superficie de la carne aumentó después del primer año en congelación (91,68%) y disminuyó al final del periodo de almacenamiento (81,07%) ($P < 0,001$). Por el contrario, la evolución del porcentaje de metamioglobina en la superficie de la carne congelada mostró una disminución tras un año (8,32%) y un posterior aumento (18,93%) por encima de los valores iniciales tras un año y medio de almacenamiento ($P < 0,001$). Estos resultados coinciden con la evolución de los valores obtenidos en el cálculo de los ratios K/S, siendo la correlación entre dichos parámetros, estadísticamente significativa (%OMb, K/S 610/525; $R = -0,626$; $P < 0,001$) (%MMb, K/S 572/525; $R = 0,978$; $P < 0,001$). Los contenidos relativos de oxi-, deoxi- y metamioglobina en la carne dependen de la disponibilidad del oxígeno, la velocidad de autooxidación de la mioglobina y la capacidad de reducción de la metamioglobina (Ledward, 1992). A bajos valores de temperatura de refrigeración y de pH se forma más oximioglobina, ya que estas condiciones aumentan la solubilidad del oxígeno e inhiben la actividad de la enzima que consume el oxígeno (Ledward, 1992). Es de prever que la carboximioglobina tenga un comportamiento similar, teniendo en cuenta su similitud espectral. Durante el almacenamiento en congelación se produce la desnaturalización de la globina en la molécula de mioglobina (Calvelo, 1981), lo cual supone un aumento de la susceptibilidad de la mioglobina a la autooxidación, y por tanto una pérdida del color óptimo de la carne (Leygonie y col., 2012b). Según Jeong y col. (2011), la

decoloración de la superficie del músculo indica una acumulación de metamioglobina durante la congelación y descongelación de la carne. Esta acumulación se ve además favorecida porque la enzima encargada de reducir la metamioglobina disminuye su actividad con la congelación (Abdallah y col., 1999).

Respecto a la evolución de los índices K/S durante el almacenamiento en refrigeración/EAM de muestras de *Serratus ventralis*, en la tabla IV.5 puede observarse que el ratio $K/S_{610} \div K/S_{525}$ disminuyó tras 7 días de almacenamiento en aquellas muestras que habían sido congeladas durante un año, indicando que el contenido de oximioglobina aumentó significativamente ($P < 0,001$) durante los 7 días, mientras que no hubo cambios significativos ($P > 0,05$) en las muestras congeladas durante año y medio. Lo mismo ocurrió con el ratio $K/S_{474} \div K/S_{525}$, que disminuyó durante el almacenamiento en refrigeración/EAM tanto en las muestras congeladas durante un año ($P > 0,001$), como en las muestras de carne congeladas durante año y medio ($P < 0,01$), lo cual indicó un aumento del contenido de deoximioglobina. Por el contrario, en los ensayos realizados por Lagerstedt y col. (2011) durante el envasado de carne de ternera a lo largo de 15 días, el contenido de deoximioglobina en las muestras se mantuvo estable en todas las atmósferas estudiadas.

En cuanto a la estimación del contenido en metamioglobina en el presente estudio, representado por el ratio $K/S_{572} \div K/S_{525}$, éste se mantuvo estable durante el almacenamiento en refrigeración/EAM de las muestras que habían sido congeladas durante un año ($P > 0,05$), mientras que aumentó ligeramente en aquellas previamente congeladas durante año y medio, lo cual viene representado por la disminución del ratio ($P < 0,01$). Lagerstedt y col. (2011) encontraron en general un aumento del contenido de metamioglobina durante el almacenamiento de las muestras de carne de ternera, obteniendo los niveles más bajos al inicio del almacenamiento y en aquellos filetes envasados durante 5 y 15 días al vacío en comparación con aquellos envasados en atmósferas o en una combinación de vacío y atmósferas protectoras. La proporción de los diferentes estados de la mioglobina en la superficie de la carne cambia con el almacenamiento en refrigeración y la atmósfera alrededor de la carne y puede determinar la vida útil de la misma (Insausti y col., 2001). El color rojo brillante de la carne fresca se debe a la presencia de oximioglobina, forma oxigenada del pigmento mioglobina (Martínez y col., 2005). En el caso de ausencia de oxígeno y presencia de monóxido de carbono, el color rojo se debe a la carboximioglobina. Sin embargo, la presencia de proporciones elevadas de oxígeno en la mezcla de gases tiene inconvenientes, ya que puede repercutir negativamente en la estabilidad

oxidativa de los lípidos del músculo y conducir al desarrollo de sabores indeseables (Zakrys y col., 2008). Como se ha mencionado anteriormente, la utilización de monóxido de carbono en el envasado de carne fresca, como en el caso del presente estudio, permite mantener el color de la misma, ya que se une con la mioglobina para producir un deseable pigmento de color rojo brillante, la carboximioglobina, que es mucho más estable contra la oxidación que la oximioglobina debido al enlace más fuerte de CO en el hierro en la molécula de mioglobina (Jeong y Claus, 2010). En la tabla IV.5 se muestra también la evolución de los porcentajes de oximioglobina y metamioglobina durante el envasado de las muestras en refrigeración/EAM a lo largo de 7 días, calculados a partir de las reflectancias mediante el método detallado por AMSA, (2011). El porcentaje de oximioglobina aumentó durante el almacenamiento en las muestras que habían permanecido congeladas durante un año ($P>0,05$), mientras que se mantuvo estable tras 7 días en refrigeración/EAM en aquellas muestras que habían estado congeladas durante un año y medio ($P<0,05$). El aumento de la concentración de carboxi/oximioglobina durante el almacenamiento en refrigeración puede deberse al efecto de la adición del CO, que se une a la mioglobina formando un pigmento más estable, la carboximioglobina (Hunt y col., 2004; Sørheim y col., 1999; Luño y col., 1998).

En cuanto al porcentaje de metamioglobina, disminuyó durante el envasado de las muestras que habían permanecido congeladas un año ($P>0,05$), pero sin embargo, permaneció estable tras 7 días de almacenamiento en refrigeración/EAM en aquellas que habían estado congeladas durante año y medio ($P<0,05$). Al igual que nosotros, Luño y col. (1998) obtuvieron una disminución de la concentración de metamioglobina en la superficie de lomo de ternera al utilizar un 1% de CO en la mezcla de gases de envasado frente al envasado en atmósferas con alto porcentaje de oxígeno. Así mismo, en estudios llevados a cabo por Sørheim y col. (1997), la carne de vacuno almacenada en atmósferas con CO mostró menores niveles de metamioglobina en su superficie que las muestras envasadas al vacío. Por el contrario, Luño y col. (2000) encontraron un aumento del porcentaje de metamioglobina al envasar carne de ternera en diferentes atmósferas que contenían distintas proporciones de O₂, CO₂, N₂ y CO, siendo este aumento menor a medida que mayor era el porcentaje de CO contenido en la mezcla de gases.

IV.1.3.- SIMCA

Discriminación entre carne fresca de cerdo (presa) y congelada (365 y 547 días) mediante espectros de reflectancia

Los datos de reflectancia se han utilizado en un gran número de trabajos de investigación para estudiar cambios en el color de la carne y productos cárnicos (Møller y col., 2003; Andrés y col., 2004a). En el presente estudio, los valores de porcentaje de reflectancia a longitudes de onda desde 360 hasta 740 nm en la superficie de la carne fresca y congelada durante 365 y 547 días se utilizaron para llevar a cabo un "Soft Independent Modelling of Class Analogy" (SIMCA). El objetivo de llevar a cabo el SIMCA fue el de determinar si muestras frescas o descongeladas se podrían clasificar o diferenciar en base a los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda.

La figura IV.5 (a y b) representa el diagrama de Cooman que corresponde a los modelos de muestras frescas y congeladas durante un año y un año y medio (365 y 547 días), respectivamente. El diagrama de Cooman muestra gráficamente las distancias de todas las muestras a dos modelos (o categorías) seleccionadas al mismo tiempo. Si una muestra pertenece a una categoría o modelo debería situarse dentro de los límites del mismo, esto es, en el cuadrante superior izquierdo o inferior derecho en el gráfico. Las muestras que están por ejemplo, cerca del origen, deben ser clasificadas como pertenecientes a ambos modelos. Si alguna muestra se localiza fuera de los límites, por ejemplo, en el cuadrante superior derecho, no pertenece a ninguno de los modelos.

Las muestras de carne fresca ocupan el cuadrante superior izquierdo en la figura 1a, por lo que se clasificaron correctamente. Además, las muestras no congeladas (0) se pueden diferenciar de las muestras congeladas durante 365 y 547 días (1 y 2), ya que estas muestras se localizan en la zona derecha del eje en las figuras. Un cierto número de muestras congeladas 547 días (2) fueron clasificadas incorrectamente e incluidas en el grupo de 365 días (1). Las muestras congeladas durante un 365 días y 547 días no se distinguen tan bien, ya que como puede observarse, muchas de ellas (1 y 2 respectivamente) se localizan en el mismo cuadrante.

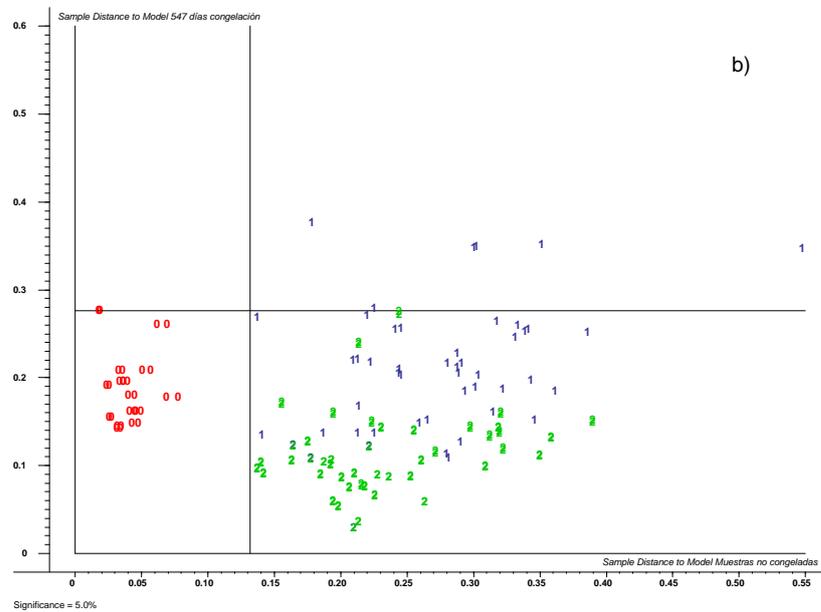
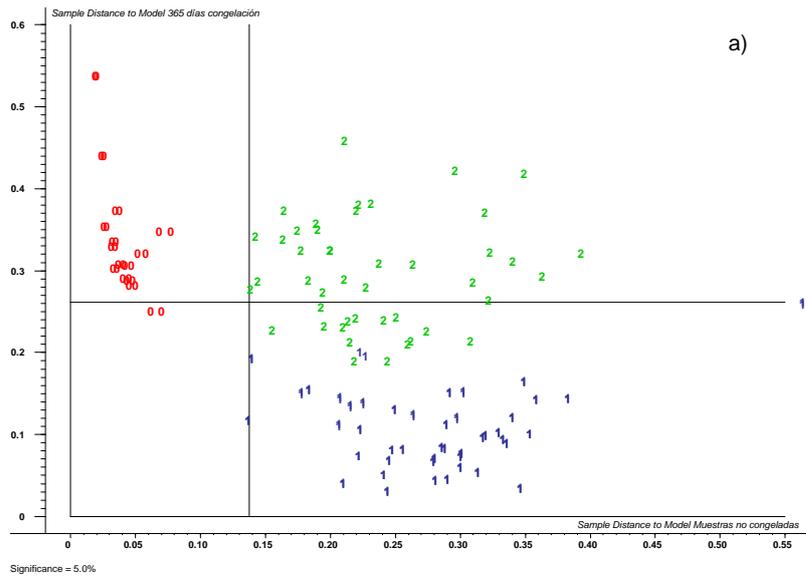


Figura I.V.5 (a y b).- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 400 y 700 nm para (a) carne fresca no congelada (símbolo=0), (b) carne almacenada en congelación durante 365 días y posteriormente descongelada (símbolo=1) y (c) carne almacenada en congelación durante 547 días y posteriormente descongelada (símbolo=2).

Una importante ventaja de SIMCA es su capacidad no solo para determinar si una muestra pertenece a alguna de las categorías predefinidas, sino que además, determina si no pertenece a ninguna de estas categorías. Así, la predicción de categorías de SIMCA podría terminar con dos posibles resultados: (i) la muestra fue correctamente clasificada dentro de las categorías predefinidas (ii) la muestra no se ajusta a ninguna de las categorías. En este sentido, la sensibilidad de un modelo es la proporción de muestras de una categoría, que el modelo reconoce correctamente, mientras que la especificidad es la proporción de muestras que no pertenecen a una categoría y que son correctamente rechazadas. La tabla IV.6 muestra los resultados de la clasificación de SIMCA basados en la sensibilidad y especificidad de modelo SIMCA realizado.

Tabla IV.6- Sensibilidad y especificidad de los modelos obtenidos con SIMCA de carne fresca no congelada (Fresco), carne congelada durante un año (365 días) y un año y medio (547 días).

Categoría	Sensibilidad(%)^a	Especificidad (%)^b
Fresco	15/15(100.0%)	88/90(97.7%)
1 año (365 días)	43/45(95.5%)	60/60(100.0%)
1 año y medio (547 días)	43/45(95.5%)	47/60(78.3%)

^a La sensibilidad máxima en un modelo óptimo es de 100%

^b La especificidad máxima en un modelo óptimo es de 100%

Un alto porcentaje de muestras fueron correctamente clasificadas, como indica la elevada sensibilidad de los modelos Fresco, 365, y 547 (95-100%). Lo mismo puede decirse de la especificidad, con excepción del modelo para las muestras congeladas durante 547 días (547), para el que 13 de 60 muestras fueron incorrectamente rechazadas (78.3%) en este grupo.

También se determinó el poder de discriminación y de creación de modelos ("modelling power") de las variables espectrales (no se muestran los datos). Ninguna variable individual (reflectancia a una determinada longitud de onda) o grupo de variables contribuyó de forma significativa y única en los modelos realizados con SIMCA.

Por otra parte, los modelos obtenidos por SIMCA permiten la obtención de distancias interclase; cuanto más distancia entre dos grupos, mejor separación. Las distancias interclases de las categorías de este estudio se presentan en la tabla IV.7.

Tabla IV.7.- Distancia interclase o intercategoría para carne fresca no congelada (0), carne congelada durante un año (365 días) y un año y medio (547 días), a partir de los modelos obtenidos con SIMCA.

Categoría	Nº de CP^a	Fresco^b	365
Fresco	4	1	14.516
1 año (365 días)	4	14.516	1
1 año y medio (547 días)	4	6.288	5.448

^a Número de componentes principales (CP) en el modelo óptimo

^b Distancias interclase de 3 o mayor indican una buena separación entre clases.

Como norma, una distancia mayor que 3 indica que las muestras se separan bien y son por tanto, diferentes (He y col., 2007). Una distancia al modelo, de aproximadamente 1 sugiere que los dos modelos son virtualmente idénticos (con respecto a los datos analizados). La distancia de un modelo a si mismo es por supuesto, 1.0. Una distancia entre 1 y 3, indica que los modelos se superponen hasta cierto punto (Esbesen, 2002). Todas las distancias interclases fueron mayores que 3, lo que indica que los modelos SIMCA desarrollados pueden discriminar la reflectancia de la carne fresca y congelada. Más concretamente, las muestras que mejor se distinguen mediante los modelos SIMCA a partir de datos de porcentaje de reflectancia, son las frescas y la congeladas durante un año (365), con un límite de confianza de un 95%, seguidas por las frescas y las congeladas durante un año y medio (547). Los modelos SIMCA discriminan las muestras congeladas un año y un año medio (365 y 547) ligeramente de forma menos eficaz.

Discriminación entre carne (fresca y descongelada) envasada en atmósfera modificada y mantenida en refrigeración durante 7 días mediante espectros de reflectancia.

La figura IV.6 representa el diagrama de Cooman que corresponde a los modelos de muestras congeladas durante 365 días (a y b) y 547 días (c y d), descongeladas y envasadas en atmósferas modificadas durante 7 días.

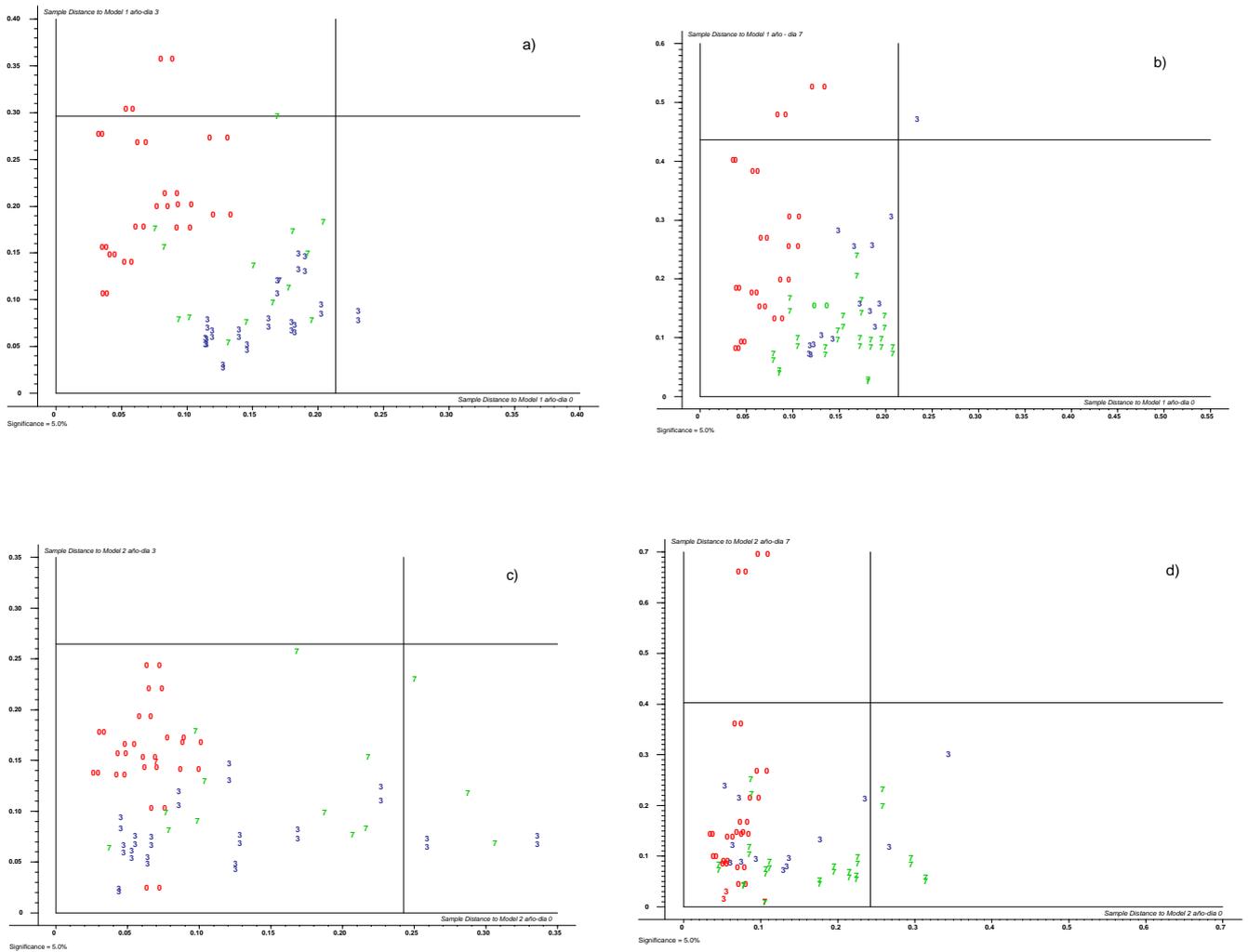


Figura IV.6(a, b, c y d).- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 400 y 700 nm para (a y b) carne almacenada en congelación durante 365 días, descongelada y almacenada en refrigeración durante 7 días (día 0 (0), día 3 (3) y día 7 (7)) y (c y d) carne almacenada en congelación durante 547 días, descongelada y almacenada en refrigeración durante 7 días (día 0 (0), día 3 (3) y día 7 (7)).

La localización de las muestras después de 0, 3 y 7 días de almacenamiento en refrigeración en zonas similares de los diagramas de Cooman, indica la imposibilidad de discriminar los grupos de muestras utilizando los espectros de reflectancia para elaborar modelos SIMCA.

La especificidad y sensibilidad de los modelos fueron muy bajos (<2%) (datos no presentados) y las distancias entre los modelos, inferiores a 3. Logicamente, ninguna variable individual (reflectancia a una determinada longitud de onda) o grupo de variables contribuyó de forma significativa y única en los modelos realizados con SIMCA.

IV.1.4.- Textura

Efecto del tiempo de almacenamiento en congelación

El efecto del almacenamiento en congelación de la carne en los test de fuerza de corte o WarnerBratzler y Análisis de Perfil de Textura (Texture Profile Analysis, TPA) (deformación al 30% y 70%) se muestran en las tablas IV.8 y IV.9. La medición de la textura por técnicas instrumentales se lleva a cabo mediante el registro de las fuerzas producidas durante la mordida y la masticación. Los métodos más utilizados son el Warner-Bratzler (Honikel, 1997) y el TPA (Bourne, 1978). En el presente estudio, los valores iniciales de fuerza y área de corte fueron de $55,13 \pm 2,37$ y $337,95 \pm 12,47$, respectivamente. El almacenamiento en congelación afectó a los valores de fuerza de corte y trabajo total empleado en el corte (área) ($P < 0.001$) (tabla IV.8). Estos valores disminuyeron después de 365 días de almacenamiento en congelación pero aumentaron de nuevo al final del periodo de almacenamiento ($P < 0.001$) aunque sin sobrepasar los valores registrados inicialmente, indicando una disminución de la dureza y aumento posterior durante el almacenamiento en congelación. La disminución de la dureza observada durante el primer año de almacenamiento en congelación en el presente estudio, puede ser debida a la ruptura de fibras musculares causada por la actividad enzimática y por la formación de cristales de hielo (Shanks y col., 2002; Vieira y col., 2009). Según Rahelic y Puac (1985), los cristales intercelulares crean una presión que separa las fibras, mientras que los cristales intracelulares generan presión desde el interior de las fibras hacia el exterior, lo cual conduce a graves daños en la célula muscular y a un ablandamiento del mismo. Coincidiendo con lo observado, algunos autores (Shanks y col., 2002; Farouk y col., 2003; Lagersted y col., 2008) han encontrado que la congelación causa

ablandamiento de la carne. Por el contrario, el posterior aumento de la fuerza de corte tras un año y medio de almacenamiento en este estudio, puede deberse a una mayor pérdida de agua de la carne durante la descongelación, lo cual ocasionaría una menor humedad de las muestras que provocaría una matriz más compacta (Pietrasik y col., 2009; Leygonie y col., 2012a). Las pérdidas de agua en la carne durante la descongelación de ésta, hace que la carne se encuentre menos hidratada, y por tanto aumente en dureza debido a la contracción de las fibras, lo cual se traduce en un aumento de la densidad de fibras por superficie, siendo mayor la fuerza necesaria para cortar las fibras (Leygonie y col., 2012a). Así, Shanks y col., (2002) observaron un aumento progresivo de la dureza de la carne de ternera durante el almacenamiento en congelación. De la misma forma, otros autores han encontrado un efecto perjudicial de la congelación sobre la terneza en carne de ternera (Pearson y Miller, 1950), cordero (Smith y col., 1968), avestruz (Leygonie, 2012a) y búfalo (Syed Ziauddin, 1993). Por otra parte, las reacciones de oxidación proteica que tienen lugar durante el almacenamiento de la carne de presa pueden haber jugado un importante papel en la dureza al corte de la carne, lo cual se discutirá en el apartado IV.1.6.

El análisis del perfil de textura (TPA) (tabla IV.9), determina las propiedades de la carne relacionadas con la masticación. La principal ventaja del TPA es que se pueden evaluar un considerable número de variables con un ciclo de compresión doble, que imita el proceso de la masticación. Las variables que se pueden evaluar con este análisis son: dureza, elasticidad, cohesión, adherencia, resistencia, fracturabilidad, gomosidad, masticabilidad, etc. En la carne, normalmente las variables evaluadas son la dureza, elasticidad y cohesión, y las tres en conjunto permiten el cálculo de la masticabilidad (Ruiz de Huidobro y col., 2001). En nuestro trabajo, además de estas variables, hemos calculado también la gomosidad y la resiliencia, que como se ha definido anteriormente, es la capacidad que tiene el producto para recuperar su altura original después de su deformación (Tabla IV.9).

Tabla IV.8: Evolución de los parámetros de textura (Test Warner-Bratzler) (media \pm error estándar) en músculo *Serratus ventralis* fresco (día 0) y congelado durante un año (365 días) y un año y medio (547 días) a -18°C , así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días.

Tiempo Congelación	Almacenamiento EAM(días)	Fuerza (N)	Area (N mm)
Fresco	0	55,13 ¹ \pm 2,37	337,95 ¹ \pm 12,47
365	0	41,89a ² \pm 1,60	166,54a ³ \pm 7,81
	3	30,36b \pm 1,82	109,11b \pm 8,26
	7	33,00b \pm 1,47	117,46b \pm 7,66
	P _{día}	***	***
547	0	53,06a ¹ \pm 2,23	250,04 ² \pm 23,26
	3	39,44b \pm 2,42	203,17 \pm 18,09
	7	38,38b \pm 1,37	223,76 \pm 15,69
	P _{día}	***	ns
P _{congelación}		***	***

Niveles de significación: ns= no significativo; *= $P < 0.05$; **= $P < 0,01$; ***= $P < 0.001$

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, test de Tukey.

^{1,2,3}: Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre tiempo de congelación, test de Tukey

Por otra parte, el test de compresión al 30% determina las propiedades de la estructura miofibrilar sin la intervención del colágeno, mientras que se considera que un test de compresión al 70% de deformación, obtiene resultados en los que se tiene en cuenta la influencia del tejido conectivo (Lepetit & Culioli, 1994). En el presente trabajo, como se aprecia en la tabla IV.9, la duración del almacenamiento en congelación afectó a la dureza, la cohesividad, la gomosidad, la resiliencia y la masticabilidad ($P < 0.001$) cuando el nivel de compresión fue del 30%. Los resultados observados mostraron que las muestras tenían menor dureza, cohesividad, gomosidad, resiliencia y masticabilidad tras 365 días en congelación ($P < 0.05$). No obstante, tras 547 días estos parámetros volvieron a aumentar, si bien no alcanzaron los valores registrados inicialmente ($P < 0.05$). Los resultados obtenidos por otros autores (Vieira y col., 2009) también mostraron una disminución significativa del valor de los parámetros medidos mediante el test de compresión al 20% tras 90 días de

almacenamiento de carne de ternera en congelación. Con respecto a los resultados del TPA cuando el nivel de compresión fue del 70%, la dureza aumentó significativamente sobre todo después de un año y medio de almacenamiento en congelación ($P < 0.05$), alcanzando valores muy superiores a los iniciales (24,15 vs. 7.24). La cohesividad, elasticidad y resiliencia de la carne disminuyeron de manera significativa tras 547 días de almacenamiento en congelación y la gomosidad y masticabilidad aumentaron ($P < 0.05$). Por el contrario, Vieira y col., (2009) no encontraron ninguna diferencia para los parámetros de textura cuando las muestras fueron comprimidas al 80%, lo cual relacionaron con una mayor resistencia del tejido conectivo a la deformación aplicada.

Efecto de tiempo de almacenamiento en refrigeración/EAM

En cuanto al efecto del almacenamiento en refrigeración/EAM sobre la textura, los resultados se muestran también en la tabla IV.8. El valor de la fuerza de corte disminuyó significativamente ($P < 0.001$) durante el almacenamiento en refrigeración tanto en las muestras congeladas durante un año como en las congeladas durante un año y medio desde $41,89 \pm 1,60$ N hasta $33,00 \pm 1,47$ N y desde $53,06 \pm 2,23$ N hasta $38,38 \pm 1,37$ N, respectivamente a lo largo de los 7 días de almacenamiento. Resultados similares obtuvieron Linares y col. (2012), que encontraron una disminución de los valores en la fuerza de corte al almacenar carne de cordero envasada en diferentes atmósferas durante 21 días. Otros autores (Lindahl y col., 2010) observaron que la carne de ternera envasada tanto al vacío como en atmósferas modificadas, mostraba también una disminución de los valores de fuerza de corte durante su almacenamiento a lo largo de 10 días. Sin embargo, Lagerstedt y col. (2011) no encontraron diferencias en la fuerza de corte de muestras de carne de ternera almacenadas durante 5 días en atmósferas modificadas. La dureza al corte en la carne almacenada en refrigeración puede relacionarse entre otros factores con la actividad enzimática proteolítica (catequinas y calpaínas), ya que estas enzimas pueden permanecer activas un tiempo considerable después del sacrificio (Roncalés y col., 1995).

En lo que respecta a los parámetros medidos mediante el análisis del perfil de textura (TPA), cuando el nivel de compresión fue del 30%, la dureza de las muestras congeladas durante un año aumentó tras 7 días de almacenamiento en refrigeración/EAM ($P < 0,001$), mientras que se produjo una disminución de la misma en aquellas previamente congeladas durante un año y medio ($P < 0,001$). Cuando el nivel

de compresión fue del 70%, no hubo diferencias significativas para el parámetro dureza debidas al almacenamiento en refrigeración, lo cual puede deberse a la mayor resistencia del tejido conectivo. La evolución del resto de los parámetros durante el almacenamiento de las muestras en la mezcla de gases estudiada puede observarse en la tabla IV.9. Con un nivel de compresión del 30%, la cohesividad, resiliencia y gomosidad disminuyeron. La masticabilidad aumentó en muestras congeladas previamente durante un año, pero disminuyó en las congeladas durante un año y medio. Respecto a los resultados del TPA con un nivel de compresión de un 70%, no se produjeron cambios significativos ni en la dureza ni en la elasticidad de las muestras, mientras que el valor del resto de parámetros aumentó tanto en las muestras que habían permanecido congeladas un año como en aquellas previamente congeladas durante un año y medio a lo largo del envasado en atmósferas modificadas.

Tabla IV.9: Evolución de los parámetros de textura (TPA) (media \pm error estándar), en músculo *Serratus ventralis* fresco (día 0) y congelado durante un año (365 días) y un año y medio (547 días) a -18°C , así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días.

NIVEL DE COMPRESIÓN 30%							
TIEMPO CONGELACIÓN	ALMACENAMIENTO EAM(días)	DUREZA	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD	ELASTICIDAD	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD
Fresco	0	6,49 ¹ \pm 1,60	0,64 ¹ \pm 0,02	4,90 ¹ \pm 1,27	0,98 \pm 0,00	0,38 ¹ \pm 0,03	4,83 ¹ \pm 1,26
1 año	0	0,67b ³ \pm 0,11	0,57a ² \pm 0,01	1,02b ³ \pm 0,11	0,98 \pm 0,01	0,25b ² \pm 0,01	1,00b ³ \pm 0,11
	3	1,98b \pm 0,35	0,59a \pm 0,04	1,64a \pm 0,24	0,91 \pm 0,05	0,32a \pm 0,02	1,63ab \pm 0,24
	7	12,82a \pm 2,55	0,39b \pm 0,03	6,27b \pm 1,95	0,92 \pm 0,11	0,21b \pm 0,01	5,20a \pm 1,86
	P día	***	***	**	ns	***	*
1 año y medio	0	3,61a ² \pm 0,61	0,67a ¹ \pm 0,01	3,37a ² \pm 0,43	0,97ab \pm 0,01	0,35a ¹ \pm 0,01	3,29a ² \pm 0,42
	3	0,61c \pm 0,17	0,66a \pm 0,01	1,13b \pm 0,18	0,98a \pm 0,00	0,27b \pm 0,01	1,12b \pm 0,18
	7	2,11b \pm 0,20	0,62b \pm 0,01	1,48b \pm 0,18	0,95b \pm 0,01	0,24c \pm 0,01	1,42b \pm 0,17
	P día	***	***	***	**	***	***
P congelación		***	***	***	ns	***	***
NIVEL DE COMPRESIÓN 70%							
Fresco	0	7,24 ² \pm 1,42	0,64 ¹ \pm 0,03	5,48 ¹² \pm 1,14	0,99 ¹ \pm 0,00	0,40 ¹ \pm 0,04	5,41 ¹² \pm 1,12
1 año	0	6,62 ² \pm 1,74	0,29b ² \pm 0,02	3,70b ² \pm 0,84	0,86 ¹² \pm 0,04	0,19a ² \pm 0,01	3,19b ² \pm 0,74
	3	15,90 \pm 3,48	0,37a \pm 0,02	8,43a \pm 1,33	0,76 \pm 0,02	0,23b \pm 0,01	6,51a \pm 1,09
	7	8,48 \pm 2,28	0,36a \pm 0,02	4,93ab \pm 1,12	0,77 \pm 0,08	0,25b \pm 0,01	3,55b \pm 0,80
	P día	ns	**	**	ns	**	*
1 año y medio	0	24,15 ¹ \pm 4,11	0,37b ² \pm 0,02	11,32b ¹ \pm 2,34	0,77 ² \pm 0,02	0,21b ² \pm 0,01	9,23b ¹ \pm 2,02
	3	13,39 \pm 3,06	0,37b \pm 0,01	5,50b \pm 1,17	0,76 \pm 0,03	0,22b \pm 0,01	4,16b \pm 0,87
	7	21,62 \pm 4,24	2,06a \pm 0,07	27,28a \pm 2,08	0,76 \pm 0,02	0,28a \pm 0,01	20,61a \pm 1,72
	P día	ns	***	***	ns	***	***
P congelación		***	***	**	*	***	**

IV.1.5.- Oxidación lipídica

Efecto del tiempo de almacenamiento en congelación

Los resultados de los niveles de oxidación lipídica (mg MDA/Kg) y proteica (nmol thiol/mg prot) en las muestras de presa durante su almacenamiento en congelación se muestran en la tabla IV.10.

Tabla IV.10: Evolución de la oxidación lipídica (mg MDA/kg) y oxidación proteica (nmol thiol/mg prot) (media \pm error estándar), en músculo *Serratus ventralis* fresco (día 0), y congelado durante un año (365 días) y un año y medio (547 días) a -18°C , así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días

Tiempo congelación	Almacenamiento EAM(días)	mg MDA/ kg	nmol thiol/mg prot
Fresco	0	0,59 ² \pm 0,06	325,85 ¹ \pm 10,77
1 año	0	1,06a ¹ \pm 0,02	286,54a ² \pm 6,14
	3	0,38b \pm 0,02	264,80a \pm 10,74
	7	0,32b \pm 0,00	203,01b \pm 15,88
	P _{día}	***	**
1 año y medio	0	0,76 ¹² \pm 0,18	175,26 ³ \pm 12,41
	3	0,61 \pm 0,05	205,70 \pm 12,80
	7	0,65 \pm 0,02	209,04 \pm 18,38
	P _{día}	ns	ns
P _{congelación}		*	***

Niveles de significación: ns= no significativo; *= $P<0.05$; **= $P<0,01$; ***= $P<0.001$

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, test de Tukey.

^{1,2,3}: Diferentes superíndices indican diferencias significativas entre tiempo de congelación, test de Tukey

Los valores de oxidación lipídica de las muestras de *Serratus ventralis* variaron desde 0.59 ± 0.06 mg MDA/kg en las muestras frescas hasta 0.76 ± 0.18 mg MDA/kg después de un año y medio de almacenamiento en congelación. No es posible la comparación con valores registrados por otros autores ya que no se ha encontrado bibliografía científica sobre congelación del músculo *Serratus ventralis*. Como puede apreciarse a partir de la tabla IV.10, los niveles de oxidación lipídica aumentaron de forma significativa ($P<0,05$) después de un año de almacenamiento en congelación pero volvieron a disminuir después de un año y medio ($P<0,05$). Los valores límite de TBA, a partir de los cuales podría detectarse un olor rancio, varían entre los diferentes

estudios. En este sentido, Insausti y col. (2001) establecieron la cantidad de 5 mg de malondialdehído/kg de carne como una concentración detectable por humanos. Sin embargo, este valor resulta mucho mayor que el indicado por otros autores. Hallazgos previos de Greene y Cumuze (1981), informaron que el sabor a oxidado en carne de ternera podría ser detectado en un amplio rango de valores de TBARS, desde 0.6 a 2.0 mg de MDA/kg. Otros autores han establecido el umbral de detección de rancidez en carne de ternera en 2,28 mg MDA/kg de carne (Campo y col., 2006), y de aproximadamente 2 mg MDA/kg en carne de cordero. En la carne de cerdo, según Lanari y col. (1995), el valor umbral para detectar el olor a rancio es 0,5 mg MDA/kg de carne. En cualquier caso, la población en general de consumidores de carne no detectan los sabores de oxidación hasta que los productos de oxidación alcanzan niveles de al menos 2,0 mg de MDA/kg de carne (Greene y Cumuze, 1981). En todo caso, los valores de TBA obtenidos en el presente estudio, no pueden considerarse elevados, y de hecho los jueces han establecido puntuaciones muy bajas para el atributo rancidez en el análisis sensorial (apartado IV.1.8).

La disminución de la estabilidad oxidativa después de un año en el presente trabajo coincide con otros estudios en los que se ha observado que las reacciones de oxidación que afectan a los lípidos tienden a acelerarse tras la congelación/descongelación debido inicialmente a la peroxidación (oxidación lipídica primaria) ocurrida durante el almacenamiento en congelación, la cual induce la formación de especies reactivas del oxígeno (radicales peróxido) y acelera la formación de productos secundarios como el malondialdehído, originando un aumento de los valores de TBARS. La congelación probablemente afecta a la oxidación de carne al causar daño a ciertas estructuras celulares, especialmente los lípidos de membrana (Muela y col., 2010). Durante el almacenamiento en congelación ($\leq -20^{\circ}\text{C}$) una parte del agua no se congela y está disponible para las reacciones químicas. El aumento en la concentración de solutos debido a la congelación del agua libre también aumenta la reactividad química, creando un entorno favorable para que se desarrollen las reacciones de oxidación de lípidos (Leygonie y col., 2012 a, b). Al igual que en el presente trabajo de investigación, Soyer y col. (2010) observaron un notable incremento en los valores de oxidación lipídica de muslos y pechugas de pollo congelados durante 6 meses, siendo el aumento más rápido y significativo tras los dos primeros meses de almacenamiento. Muela y col. (2010) también observaron un aumento en la tasa de formación de TBARS a medida que aumentó la duración del almacenamiento de carne de cordero en congelación. Sin embargo, los valores de TBARS encontrados por autores como Park y col. (2007) en carne de cerdo y Leygonie

y col. (2012a) en carne de avestruz no se vieron afectados por el tiempo de almacenamiento en congelación durante 120 días y un mes respectivamente. Resultados similares fueron encontrados por Tan y Shelef (2002) durante el almacenamiento en congelación a -20°C en carne picada de cerdo durante 69 días. Biswas y col. (2004) también observaron que hamburguesas de cerdo precocinadas no mostraron cambios significativos en los valores de TBARs durante el almacenamiento en congelación a -18°C , aunque en un periodo de tiempo considerablemente menor que en este estudio (40 días).

Por otra parte, la posterior disminución de los valores de TBARs en las muestras de presa, tras un año y medio en congelación podría tener que ver con el hecho de que la oxidación es un proceso dinámico, lo que hace difícil inferir el desarrollo de las reacciones de oxidación simplemente a partir de los compuestos finales formados. En este sentido, se añade la marcada reactividad del malondialdehído. Sus reacciones con aminoácidos y proteínas, así como con ácidos nucleicos y grupos sulfidrilos, han sido descritas por diversos autores (Crawford y col., 1967; Draper y col., 1986; Xiong, 2000).

Por otra parte, algunos autores han evidenciado una relación directa entre la oxidación lipídica y degradación del color y oxidación de pigmentos de la carne (Barón & Andersen, 2002; Gómez & Lorenzo, 2012). En este sentido, en el presente estudio, se ha observado una correlación negativa entre los valores de TBARs y a^* y C , ($R=-0.460$ y $R=-0.506$, $P<0.05$ y $P<0.05$ respectivamente).

Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración/ EAM

En cuanto a la evolución de la oxidación lipídica a lo largo del almacenamiento de las muestras en refrigeración/EAM, tanto en aquellas que habían permanecido congeladas durante un año como en las congeladas durante un año y medio, los valores de TBA disminuyeron tras 7 días de almacenamiento, de forma significativa en las primeras y no significativa en las segundas ($P<0.001$ y $P<0.05$, respectivamente). Por el contrario, en otros trabajos de investigación se ha observado un aumento de las reacciones de oxidación con el tiempo de almacenamiento en refrigeración en cordero (Linares y col., 2007), cerdo (Martínez y col., 2005,) y ternera (Luño y col., 2000). El aumento de la oxidación lipídica en la carne se relaciona con la existencia de altas concentraciones de oxígeno en la mezcla de gases de envasado (Martínez y col., 2005; Seydim y col., 2006; Bórnez y col., 2009). En el presente trabajo, si bien no se ha incluido oxígeno en la formulación de la atmósfera de envasado, este gas puede

estar presente de forma residual en cantidades que oscilan entre un 2-5%, ya que se estima que es el límite de eficiencia de los equipos de envasado (Hutton, 2003). Esmer y col. (2011) obtuvieron una disminución de la estabilidad oxidativa de carne picada de ternera envasada en atmósferas con diferentes proporciones de O₂, CO₂ y N₂ a lo largo de 14 días de almacenamiento en refrigeración, al igual que Martínez y col. (2005) en salchichas frescas de cerdo almacenadas durante 20 días. En estos trabajos, la estabilidad de los lípidos disminuyó a medida que aumentaba la concentración de O₂ en la mezcla de gases. Por el contrario, diferentes estudios han podido comprobar que la adición de CO a la mezcla de gases aumenta la estabilidad de los lípidos a la oxidación (Luño y col., 2000; Martínez y col., 2005; Bórnez y col., 2009; Gutierrez y col., 2011; Linares y Vergara, 2012). Así por ejemplo, Linares y Vergara (2012) obtuvieron niveles de oxidación lipídica tres veces mayores en las muestras de carne de cordero envasadas con atmósferas que contenían oxígeno (70% O₂ + 30% CO₂) con respecto a aquellas envasadas en atmósferas con bajas concentraciones de CO (69.3% N₂ + 30% CO₂ + 0.7% CO). Con estos niveles de monóxido de carbono, incluso después de 21 días de almacenamiento, las muestras de carne no excedieron el umbral de 2 mg de MDA/kg de carne propuesto como límite para percibir el olor y sabor a oxidado en la carne de cordero (Camo y col., 2008). Resultados similares encontraron Luño y col. (2000), los cuales demostraron que un 0.25% de CO en la mezcla de gases disminuía muy significativamente los valores de TBA con respecto a carne almacenada con oxígeno en los envases. Por tanto el hecho de que en el presente estudio los valores indicadores de oxidación lipídica no hayan aumentado durante el periodo de almacenamiento en refrigeración/EAM puede tener que ver con la inclusión de CO en la mezcla de gases de envasado y por tanto, la exclusión de oxígeno del espacio de cabeza del envase.

IV.1.6.- Oxidación protéica

La evolución de la estabilidad oxidativa de las proteínas en el músculo *Serratus ventralis* durante su almacenamiento en congelación a -18°C se muestra en la tabla IV.10.

Efecto del tiempo de almacenamiento en congelación

El contenido en grupos tiol libres disminuyó de forma significativa en las muestras de presa, desde valores iniciales (fresco) de 325,85±10,77 nmol tiol/mg de proteína hasta valores de 175,26±12,41 nmol tiol/mg de proteína tras 547 días de

almacenamiento en congelación. No es posible la comparación con otros trabajos porque no se han encontrado en la bibliografía científica estudios sobre oxidación proteica en “presa” almacenada en congelación. La oxidación proteica está asociada con una disminución de los grupos sulfhidrilo o grupos tiol, los cuales sufren reacciones de condensación, formándose compuestos disulfuros (Soyer & Hultin, 2000; Batifoulier y col., 2002). Por ello, una disminución del contenido en grupos sulfhidrilo, indica un aumento de las reacciones de oxidación que afectan a las proteínas. En nuestro estudio, la disminución significativa de los grupos sulfhidrilo ($P < 0.001$) indica una disminución de la estabilidad oxidativa de las proteínas en la muestra de presa durante el almacenamiento en congelación a -18°C durante un año y medio. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores, los cuales obtuvieron también un aumento de la oxidación proteica durante el almacenamiento en congelación de carne de pollo (Soyer y col., 2010), de pavo (Chan y col., 2011) y de pescado (Eymard y col., 2009). Resultados contrarios fueron encontrados por otros autores como Leygonie y col. (2012a) en carne de avestruz durante el almacenamiento en congelación, ya que las muestras frescas mostraron una mayor intensidad de reacciones de oxidación de proteínas que las congeladas/descongeladas durante un mes.

La oxidación de las proteínas induce una serie de cambios en ellas, tales como la modificación del tamaño de la cadena de aminoácidos y cambios en la composición de éstos, la formación de polímeros protéicos, la pérdida de solubilidad y el aumento de la susceptibilidad proteolítica (Levine y col., 1990; Xiong, 2000). Además, la oxidación proteica conduce a un aumento de la dureza de la carne, pérdida de la capacidad de retención del agua y pérdida de la solubilidad de las proteínas (Leygonie y col., 2012b). Sin embargo, en nuestro estudio, los resultados obtenidos muestran una correlación positiva entre los valores de oxidación proteica y la fuerza de corte ($P < 0,05$; $R = 0,576$), de forma que a medida que disminuye la cantidad de grupos tiol libres, disminuye también la fuerza de corte, y por tanto, a medida que aumenta la oxidación protéica es mayor la ternura de las muestras. Como se ha mencionado anteriormente, sobre la dureza de la carne influyen otros factores como la presencia de enzimas proteolíticas, la desecación, etc. que podrían ser la causa de los resultados obtenidos en este estudio.

Por otra parte, como se ha dicho antes, la oxidación de proteínas y lípidos está relacionada, ya que los productos de la oxidación primaria y secundaria de los lípidos (hidroperóxidos y aldehidos) pueden actuar como sustratos para la oxidación de

proteínas, por lo que una vez que comienza la oxidación de los lípidos, también se producirá la oxidación de las proteínas (Soyer y col., 2010). Sin embargo, en nuestro caso, no encontramos una relación significativa entre la oxidación de lípidos y proteínas de las muestras de presa almacenadas en congelación a lo largo de un año y medio ($P>0.05$). Por el contrario, otros autores han corroborado la relación entre oxidación lipídica y oxidación proteica en carne de pollo congelada durante 6 meses (Soyer y col., 2010) o en pescado congelado durante 13 meses (Baron y col., 2007), Hay que señalar que los mencionados autores registraron los valores de los carbonilos formados.

Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración/ EAM

En el caso de las muestras de presa congeladas durante un año y posteriormente descongeladas, el número de grupos tiol libres disminuyó desde valores de $286,54 \pm 6,14$ nmol tiol/mg prot hasta valores de $203,01 \pm 15.88$ nmol tiol/mg prot ($P<0.01$) tras 7 días de almacenamiento en una mezcla de 30% CO_2 , 69,6 %de argón, y 0.4% de CO , mientras que por el contrario, en las muestras que habían permanecido congeladas durante un año y medio, no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) para este parámetro.

Los datos bibliográficos al respecto de este parámetro en carne son diversos, si bien apuntan a que un almacenamiento en refrigeración puede conllevar una disminución de la estabilidad oxidativa de las proteínas. Lund y col. (2007a) obtuvieron un aumento del contenido de grupos carbonilo, y por tanto de los valores de oxidación proteica, en hamburguesas de ternera almacenadas durante 6 días en refrigeración/EAM. Del mismo modo, Zakrys y col. (2008) obtuvieron un aumento directo de la oxidación de proteínas a medida que aumentó la concentración de oxígeno durante el almacenamiento de filetes de ternera envasados. Por el contrario, Lagersted y col. (2011) no obtuvieron diferencias significativas en la medida de la oxidación proteica mediante la determinación de grupos carbonilo en muestras de ternera envasadas tanto al vacío como en atmósferas modificadas (80% O_2 y 20% CO_2).

Por otra parte, como se ha comentado, la oxidación protéica puede reducir la calidad de la carne debido a una disminución de la ternura y jugosidad de la misma, así como favorecer el deterioro del sabor y la decoloración (Xiong, 2000). La oxidación de las proteínas influye en la solubilidad de las mismas, debido a que conduce a la agregación y formación de complejos proteicos mediante enlaces cruzados, lo cual

podría causar un incremento de la dureza durante la refrigeración (Estevez y Cava, 2006). Los enlaces cruzados intermoleculares pueden originar proteínas menos susceptibles a la proteólisis enzimática y por tanto reducir el desarrollo de la terneza de la carne mediante proteólisis (Lund y col., 2007b). Nuestros resultados muestran una relación significativa y positiva entre la cantidad de grupos tiol libres y la fuerza de corte de las muestras congeladas un año durante su almacenamiento en refrigeración/EAM ($P < 0.05$; $R = 0.631$), aunque no se aprecia correlación en las muestras previamente congeladas durante un año y medio. Zakrys y col. (2008) tampoco encontraron una relación definitiva entre oxidación protéica y terneza durante el almacenamiento de carne de ternera.

IV.1.7.- Contenido de vitamina E

Efecto del tiempo de almacenamiento en congelación

La tabla IV.11 muestra el contenido de vitamina E (α -tocoferol y γ -tocoferol) en las muestras de “presa” durante su almacenamiento en congelación a -18°C . La vitamina E, compuesto soluble en la membrana de los fosfolípidos, es un potente antioxidante biológico obtenido sólo a través de la dieta, cuyo mecanismo de acción consiste en la inactivación de radicales libres en las membranas celulares (Channon y col., 2002), protegiéndolas de compuestos oxidables presentes en el citoplasma de la célula a través de la estabilización de ácidos grasos insaturados y la ruptura de las cadenas de peróxidos (Yamamoto y col., 2001). El α -tocoferol es la forma biológicamente más activa de la vitamina E (Lauzurica y col., 2005). El α -tocoferol se ha relacionado con una mejora del color (Faustman y col., 1989; Asghar y col., 1991; Arnold y col., 1993), retraso de la formación de compuestos carbonílicos (Asghar y col., 1991; Monahan y col., 1990, 1992) y disminución de la pérdida por exudado (Asghar y col., 1991) de la carne. El α -tocoferol limita la formación de metamioglobina, ya que compite con la oximioglobina por los radicales peroxilo de lípidos y por lo tanto inhibe la formación de ésta (Li y col., 2012). No se conoce bien el mecanismo de protección del α -tocoferol hacia la oximioglobina, pero se propone la hipótesis general de que el α -tocoferol indirectamente mantiene el contenido de oximioglobina inhibiendo directamente la oxidación lipídica (Schaefer y col., 1995). En cuanto al γ -tocoferol, esta forma de la vitamina E, presenta la capacidad de proteger contra los radicales libres de nitrógeno, actividad que no puede desempeñar el α -tocoferol (Jiang y col., 2001).

Tabla IV.11.: Contenido de vitamina E (α -tocoferol y γ -tocoferol)(media \pm error estándar), en músculo *Serratus ventralis* fresco (día 0), y congelado durante 365 y 547 días a -18°C así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días

TIEMPO (congelación)	ALMACENAMIENTO EAM(días)	ppm α -tocoferol	ppm γ -tocoferol
Fresco	0	6,99 \pm 0,23	2,49 ¹ \pm 0,41
1 año	0	5,52 \pm 0,43	1,44 ¹² \pm 0,78
	3	6,47 \pm 1,09	1,64 \pm 0,82
	7	5,43 \pm 0,17	-
	P día	ns	-
1 año y medio	0	6,10 \pm 0,49	-
	3	5,40 \pm 0,29	-
	7	5,42 \pm 0,05	-
	P día	ns	-
P congelación		ns	*

Niveles de significación: ns=>0.05:*= p <0.05: **= p <0.01: ***= p <0.001.

a,b,c: Diferentes letras en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p <0.05, test de Tukey.

1,2,3, : Diferentes superíndices en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre tiempo de congelación, test de Tukey

Los valores iniciales de α -tocoferol y γ -tocoferol en la carne fresca fueron 6,99 \pm 0,23 y 2,49 \pm 0,41 respectivamente. La concentración efectiva como antioxidante de α -tocoferol en el músculo es diferente según la especie (Okabe y col., 2002), aunque según la bibliografía, la concentración de α -tocoferol en músculo porcino para una máxima estabilidad a la oxidación de lípidos es 7-10 mg/kg del músculo fresco (Bruni, 1993). Como se puede observar en la tabla IV.11, nuestros valores de α -tocoferol en músculo *Serratus ventralis* están próximos a este rango. El contenido de α -tocoferol se mantuvo estable durante el tiempo de almacenamiento en congelación (1 año y 1 año y medio) (P >0,05), mientras que el contenido de γ -tocoferol disminuyó de manera significativa en la “presa” almacenada durante un año en congelación, llegando incluso a desaparecer en las muestras de presa congeladas durante un año y medio (P <0,05). Al igual que en el presente trabajo, Hansen y col., (2004b) no observaron disminución de la concentración de α -tocoferol en hamburguesas de carne de cerdo durante el período de almacenamiento en congelación, y del mismo modo, Grau y col. (2001) en carne picada de pollo y King y col. (1995) en hamburguesas de pollo, informaron que

los niveles de vitamina E endógena no se vieron afectados tras 7 meses y 8 semanas, respectivamente, de almacenamiento a -20°C . También, Jensen y col. (1998a) observaron que la vitamina E era altamente estable en carne de cerdo durante su almacenamiento en congelación a -25°C a lo largo de 10 meses. Esta concentración constante de α -tocoferol en la carne congelada podría deberse a la regeneración eficiente de α -tocoferol por otros compuestos reductores a través de un mecanismo desconocido (Hansen y col., 2004b). Por el contrario, Botsoglou y col. (2003), observaron una disminución de la concentración de α -tocoferol en muslo y pechuga de pollo durante 9 meses de almacenamiento en congelación, al igual que Guidera y col. (1997) en carne de cordero tras 34 semanas almacenada a -20°C , lo cual podría ser debido a que el α -tocoferol se agota al ejercer su acción antioxidante en la carne (Wen y col., 1996).

En general, cuanto mayor es la cantidad de vitamina E endógena, mejor protección tiene el músculo contra el ataque oxidativo, pero sin embargo la influencia de los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y el contenido de prooxidantes debe tenerse en consideración también (Jensen y col., 1998b).

Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración/EAM

En cuanto al efecto del almacenamiento en refrigeración/EAM sobre el contenido de vitamina E en las muestras de "presa", los valores se muestran en la tabla IV.11. Se puede comprobar que no se observaron diferencias en el contenido de α -tocoferol durante el almacenamiento de las muestras envasadas en atmósferas modificadas a temperatura de refrigeración. Resultados similares a los nuestros fueron obtenidos por Pfalzgraf y col. (1995), que no encontraron pérdida de vitamina E en chuletas de cerdo envasadas con atmósferas que contenían $80\% \text{O}_2:20\% \text{CO}_2$ durante 15 días de almacenamiento en refrigeración a 4°C . Sin embargo, Lagerstedt y col. (2007), obtuvieron una disminución del contenido de α -tocoferol en carne picada envasada con atmósferas que contenían alta concentración de oxígeno, al igual que Formanek y col. (1998), que observaron una disminución de la concentración de α -tocoferol en carne de ternera tras 8 días de almacenamiento en diferentes condiciones de envasado a medida que aumentaba la concentración de oxígeno en los envases. Según estos mismos autores, una posible explicación sería que a medida que se incrementaba la concentración de oxígeno en los envases aumentaban también las especies reactivas de oxígeno y por tanto se producía un aumento del consumo de α -tocoferol. Lund y col. (2007a) también obtuvieron una disminución de la concentración

de α -tocoferol en hamburguesas de ternera durante el primer día de almacenamiento en diferentes atmósferas que contenían 100% N_2 y 80% O_2 +20% N_2 , aunque no se observaron diferencias entre los dos tipos de atmósferas tras un día de almacenamiento. El hecho de que la carne del presente trabajo se haya envasado sin cantidades elevadas de oxígeno, puede haber determinado que el contenido de vitamina E (α -tocoferol) no haya disminuido significativamente durante el almacenamiento en refrigeración.

IV.1.8.- Análisis sensorial

Efecto del tiempo de almacenamiento en congelación

La tabla IV.12 muestra los valores de los parámetros sensoriales evaluados en las muestras de presa no congelada, congelada durante un año y un año y medio y descongelada posteriormente.

Todos los valores se mantuvieron estables a lo largo del almacenamiento en congelación excepto el aroma "a cerdo", que disminuyó significativamente ($P < 0.01$) después de un año y un año y medio, en comparación con los valores iniciales (día 0).

Las cualidades sensoriales de la carne están determinadas por una combinación de la terneza, la jugosidad y el sabor de la carne (Koochmaraie y col., 2002). No se han encontrado estudios en los que el periodo de congelación haya sido tan largo como en el presente trabajo, por lo que no es posible la comparación de los resultados obtenidos aquí. Sí se puede mencionar que al igual que nosotros, Vieira y col. (2009) no encontraron ningún efecto de la duración del almacenamiento en congelación a lo largo de 90 días sobre la jugosidad y la terneza de carne de ternera. Por el contrario, Sudheer y col. (2011) observaron una disminución de estos parámetros en carne de ave reestructurada durante su almacenamiento en congelación a lo largo de 60 días. La ausencia de diferencias significativas para los atributos relacionados con la textura en este estudio, podría atribuirse a la rápida velocidad de congelación y a la ausencia de fluctuaciones en la temperatura durante el almacenamiento (datos registrados por la industria y no presentados) (Muela y col., 2012). Por otra parte, la diferencia existente entre la puntuación obtenida para los valores de terneza y los resultados encontrados al medir la fuerza de corte, podría ser debida a que la evaluación instrumental de la fuerza de corte mide características algo diferentes en comparación con la medida sensorial de la terneza, ya que aunque la fuerza de corte es la medida de textura más utilizada, quizás no es la mejor para

predecir la ternura sensorialmente percibida (Lagerstedt y col., 2008), lo cual queda confirmado con el coeficiente de correlación de Pearson tan bajo encontrado en nuestro trabajo entre estos dos parámetros ($P > 0,05$; $R = 0,072$).

Respecto al atributo "aroma a cerdo", las puntuaciones otorgadas a este atributo disminuyeron significativamente a lo largo del almacenamiento en congelación ($P < 0,01$). Los resultados encontrados en otras especies no son definitivos a este respecto, ya que por ejemplo, Muela y col. (2012) no observaron diferencias significativas para el parámetro "olor a cordero" en carne congelada durante 6 meses en comparación con carne fresca. Por el contrario, la congelación sí afectó a la intensidad del olor en carne de ternera (Vieira y col., 2009), cuyos valores aumentaron tras el almacenamiento en congelación. Según estos y otros autores (Young y col., 1994), los olores y sabores específicos de la carne (especialmente la de ovino, en su caso) provienen de los lípidos, por lo que bajo condiciones de almacenamiento donde la oxidación de estos es limitada, puede mejorarse la intensidad del olor de carne de cordero y otros olores pueden reducirse. En este sentido, los valores de oxidación lipídica encontrados en este trabajo, si bien aumentaron después de un año, disminuyeron a continuación hasta niveles similares a los iniciales y en todo caso, no superiores a los valores umbral de detección de los jueces que realizaron el análisis sensorial (ver página 101). La oxidación lipídica puede estar más relacionada con la rancidez, percibida sensorialmente. Como se aprecia en la tabla IV.12, la rancidez aumentó después de un año en congelación y disminuyó después de un año y medio, de forma similar a como lo hacía el parámetro de oxidación lipídica medido (valores de TBA). De hecho, en el presente trabajo se ha obtenido un coeficiente de correlación de Pearson positivo y significativo entre estos dos parámetros ($P < 0,01$; $R = 0,788$). Por otra parte, los valores de rancidez son muy bajos (escala 1-10) durante todo el estudio. La falta de detección del sabor a rancio puede considerarse un indicador de frescura, ya que la presencia de rancidez debida a la oxidación de lípidos es causa de rechazo sensorial de la carne (Muela y col., 2012).

Puede decirse por tanto que el perfil sensorial de las muestras de carne se mantuvo constante después de un año y medio de almacenamiento en congelación.

Tabla IV.12: Evolución de los atributos sensoriales (media \pm error estándar), en músculo *Serratus ventralis* fresco (día 0) y congelado durante 365 y 547 días a -18°C , así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días.

Tiempo congelación	Almacenamiento EAM(días)	TERNEZA	JUGOSIDAD	FIBROSIDAD	AROMA "A CERDO"	RANCIDEZ
0	0	5,49 \pm 0,70	5,90 \pm 0,66	6,29 \pm 0,46	6,24 ¹ \pm 0,67	0,73 \pm 0,33
1 año	0	5,87a \pm 0,24	5,98a \pm 0,32	6,14a \pm 0,37	4,35 ² \pm 0,30	1,86a \pm 0,50
	3	4,73b \pm 0,33	4,69b \pm 0,34	6,24a \pm 0,41	4,73 \pm 0,31	0,60b \pm 0,16
	7	6,19a \pm 0,29	6,12a \pm 0,29	4,61b \pm 0,40	4,50 \pm 0,39	0,56b \pm 0,13
	P día	**	**	**	ns	**
1 año y medio	0	5,19 \pm 0,36	6,73a \pm 0,36	4,62 \pm 0,36	3,35 ² \pm 0,37	0,87 \pm 0,29
	3	5,05 \pm 0,48	4,78b \pm 0,43	5,34 \pm 0,33	2,24 \pm 0,37	0,44 \pm 0,21
	7	4,97 \pm 0,41	5,46b \pm 0,38	5,44 \pm 0,34	2,55 \pm 0,29	0,78 \pm 0,26
	P día	ns	**	ns	ns	ns
P congelación		ns	ns	**	**	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, test de Tukey

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo día de almacenamientos indican diferencias significativas entre tiempos

Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración/EAM

En cuanto al efecto del almacenamiento en refrigeración/EAM sobre los parámetros sensoriales en las muestras de "presa", los valores se muestran en la tabla IV.12. De forma general, puede decirse que en las muestras congeladas durante un año y posteriormente descongeladas, el efecto "día de almacenamiento" fue más intenso que en las muestras congeladas durante un año y medio. Así, la terneza y la jugosidad aumentaron de manera significativa durante los 7 días de refrigeración, en las muestras que habían sido congeladas durante un año ($P<0.01$), mientras que la fibrosidad y la rancidez disminuyeron al final del periodo de almacenamiento ($P<0.01$). No hubo cambios para el atributo "aroma a cerdo" ($P>0.05$). En cambio, en las muestras previamente congeladas durante un año y medio, todos los parámetros permanecieron estables ($P>0.05$) excepto la jugosidad, que disminuyó durante el almacenamiento de las muestras en refrigeración/EAM ($P<0.01$).

Coincidiendo con estos resultados obtenidos para las muestras almacenadas un año en congelación, Lagerstedt y col. (2011) obtuvieron un aumento de la terneza en carne de ternera almacenada durante 5 días tanto a vacío como en atmósferas que contenían 80% de O_2 y 20% de CO_2 . El aumento de la terneza observado en el

presente estudio, puede tener que ver con la ausencia de oxígeno en la mezcla de gases utilizada (30% CO₂, 69,6 %de argón, y 0.4% de CO). En este sentido, algunos autores observaron que la terneza de la carne de ternera envasada en atmósferas que contenían una alta concentración de oxígeno (80% O₂) disminuía tras su almacenamiento, mientras que no lo hacía cuando las muestras fueron envasadas en una mezcla que contenía 50% CO₂/50% N₂ (Tørngren (2003). En relación con esto, otros autores han señalado que atributos sensoriales tales como la jugosidad y el sabor de la carne también se ven afectados negativamente durante el envasado en atmósferas modificadas con alta concentración de oxígeno. (Clausen, 2004; Sørheim y col., 2004). En cuanto a la rancidez, Zakrys y col. (2008) observaron un aumento de la puntuación en el sabor a oxidado durante los 12 días de almacenamiento en refrigeración de los filetes de ternera envasados, al contrario que en el presente trabajo. En este sentido, hay que subrayar, que la evolución de la rancidez coincide con la explicada en el apartado anteriores para los valores de TBA, y que de hecho existe una correlación significativa y positiva entre ambos parámetros (P<0.01; R=0.980).

IV.1.9.- Resultados microbiológicos

Efecto del tiempo de almacenamiento en congelación

La tabla IV.13 muestra los resultados de los análisis microbiológicos para las muestras frescas y los dos tiempos de almacenamiento en congelación estudiados (un año y un año y medio).

Los niveles iniciales de bacterias aerobias mesófilas fueron de 3.64 log ufc/g y alcanzaron 3.99 log ufc/g al final del periodo de almacenamiento en congelación (P>0.05). Estos niveles están por debajo de los considerados límite según el Codex Alimentarius en carne (6 log₁₀ ufc/g), a partir de los cuales se considera una carne como no apta para el consumo.

Por otra parte, el aumento de los recuentos de bacterias aerobias mesófilas después de un año y un año y medio no fue estadísticamente significativo (P>0.05). Coincidiendo con estos resultados, Das y col. (2008) no encontraron ningún cambio significativo en el recuento de aerobios totales durante los primeros 30 días de almacenamiento en congelación de nuggets elaboradas con carne de cabra, aunque posteriormente los recuentos aumentaron significativamente a lo largo del almacenamiento, sin que estos superasen tampoco los niveles permitidos según las

normas microbiológicas para este tipo de productos. Hamza y col. (1987) encontraron un aumento gradual de la carga microbiana de hamburguesas de ternera congeladas durante 3 meses. Por el contrario, Javanmard y col. (2006) obtuvieron una disminución del recuento de aerobios totales en pollos congelados durante 9 meses. Aunque el tipo de microorganismos presentes define el patrón de deterioro, en general, el deterioro ocurre cuando la población microbiana alcanza 7- 8 log₁₀ ufc/g (Vieira y col., 2009), lo cual está de acuerdo, como se ha dicho anteriormente, con los límites microbiológicos establecidos por el Codex Alimentarius (6 log₁₀ ufc/g), en carne.

El recuento del resto de microorganismos permaneció por debajo del límite de detección en todos los muestreos. Al igual que el presente estudio, otros autores como Vieira y col. (2009) tampoco detectaron recuentos de enterobacterias en carne de ternera congelada almacenada durante 90 días. Se trata de resultados satisfactorios, ya que el número de estas bacterias refleja el estado microbiológico general de la carne en relación a la manipulación, y el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

Tabla IV.13: Recuentos microbiológicos (log UFC/g) (media ± error estándar) en músculo *Serratus ventralis* fresco (día 0) y congelado durante un año (365 días) y un año y medio (547 días) a -18°C, así como su evolución una vez descongelado y almacenado en atmósferas modificadas durante 7 días

Tiempo congelación	Almacenamiento EAM (días)	Mesófilos	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	<i>Clostridium sulfitorreductores</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Salmonella</i>
Fresco	0	3,64 ± 0,34	nd	nd	nd	Nd	nd
1 año	0	3,83b ± 0,24	nd	nd	nd	Nd	nd
	3	4,27b ± 0,18	nd	nd	nd	Nd	nd
	7	5,13a ± 0,21	nd	nd	nd	Nd	nd
	P _{día}	**					
1 año y medio	0	3,99 ± 0,16	nd	nd	nd	Nd	nd
	3	4,24 ± 0,28	nd	nd	nd	Nd	nd
	7	4,69 ± 0,28	nd	nd	nd	Nd	nd
	P _{día}	ns					
P _{congelación}		ns					

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, test de Tukey

La literatura sobre la calidad microbiológica y la vida útil después de la congelación/descongelación es escasa para todas las especies de carne, pero la que

está disponible parece indicar que la vida útil microbiológica de muestras frescas y muestras congeladas/descongeladas es similar (Leygonie y col., 2012b).

Por tanto, los resultados obtenidos indican que la calidad microbiológica de las muestra de presa congeladas un año o un año y medio y posteriormente descongeladas es similar a la carne fresca no sometida a procesos de congelación/descongelación, en las condiciones de nuestro estudio.

Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración/EAM

En cuanto al efecto del almacenamiento de las muestras en refrigeración/EAM, el recuento de bacterias aerobias mesófilas aumentó desde $3,83 \pm 0,24$ hasta $5,13 \pm 0,21$ log ufc/g para las muestras de carne congeladas durante un año ($P < 0,01$) y de forma no significativa ($P > 0,05$) desde $3,99 \pm 0,16$ hasta $4,69 \pm 0,28$ log ufc/g en las muestras de carne congeladas un año y medio. Sin embargo, en ningún momento durante el almacenamiento, los recuentos sobrepasaron el límite del deterioro para la carne fresca ($7 \log_{10}$ ufc/g), por lo que puede decirse que la mezcla de gases utilizada y concretamente la concentración de 30% de CO₂, ha sido suficiente para controlar el crecimiento microbiano en este estudio. La mayoría de los estudios previos indican que una concentración del 20-30% de CO₂ es suficiente para prevenir el crecimiento de bacterias aeróbicas responsables del deterioro (Sørheim y col., 2004), aunque el incremento de los niveles de CO₂ aumenta en algunos casos la eficiencia del gas (Martínez y col., 2005). El CO₂ actúa sobre los microorganismos aumentando su fase de adaptación y disminuyendo la velocidad de crecimiento durante la fase exponencial, y su efecto va a depender de la concentración de CO₂, la edad y carga microbiana inicial, la temperatura de almacenamiento y el tipo envasado del producto (Martínez y col., 2005). Una baja temperatura de almacenamiento y bajos recuentos microbianos iniciales aumentan la efectividad de CO₂ (Gill & Molin, 1991). Sørheim y col. (1999) también obtuvieron un aumento del recuento de microorganismos totales en chuletas de cerdo envasadas en diferentes atmósferas y almacenadas durante 21 días, al igual que Bingol & Ergun (2011) en carne de avestruz almacenada con diferentes concentraciones de O₂, CO₂ y N₂ durante 10 días, pero los recuentos tampoco sobrepasaron de 7 log ufc/g al final del periodo de almacenamiento. Respecto al uso de CO, como es el caso en este trabajo, autores como Wilkinson y col. (2006), al comparar carne de cerdo envasada en atmósferas con un 100% CO₂ y una mezcla que contenía 80% CO₂ + 19,6% N₂ + 0,4% CO, no encontraron diferencias en los recuentos de aerobios totales y anaerobios totales durante su almacenamiento a lo

largo de 8 semanas. Sørheim y col. (1999) también observaron que el envasado con 0,4% de CO no tuvo ningún efecto sobre el recuento de aerobios mesófilos en comparación con atmósferas que no lo incluían. En otros estudios, el almacenamiento continuo de la carne en atmósferas 100% CO reducía el desarrollo de bacterias y de mal olor (Tsemakhovich & Shaklai, 2000). Un resultado similar fue obtenido por Luño y col. (2000), puesto que el envasado de carne de ternera en atmósferas con baja concentración de oxígeno y diferentes concentraciones de monóxido de carbono permitió retrasar 10 días el deterioro causado por el desarrollo de bacterias psicrotrofas con respecto al envasado en atmósferas que contenían O₂, CO₂ y N₂. En lo que respecta al efecto del argón sobre la flora microbiana, Ruiz-Capillas & Jiménez-Colmenero (2010) no encontraron diferencias entre lotes durante el envasado de salchichas frescas de cerdo con una mezcla que contenía 30% de CO₂ y 70% de argón y otra mezcla de gases más tradicional compuesta por 20% de CO₂ y 80% de N₂. Sin embargo, Frankeza y col. (2008) observaron que el argón en asociación con el CO₂ era más eficiente a la hora de retrasar el desarrollo de la microflora en carne de pavo que el CO₂ mezclado con N₂ en vez de argón.

IV.2.- Embutidos crudos curados

IV.2.1.- Color L*, a*, b*

Los valores de L*, a*, b*, Cromo (C) y Hue (h) durante el almacenamiento del chorizo "sarta", el salchichón "sarta" y el chorizo "vela" tanto al vacío como en las diferentes atmósferas de gases aplicadas se muestran en las tablas IV.14, IV.15 y IV.16 respectivamente.

Los valores de luminosidad (L*) mostraron valores iniciales de 32,40, 32,47 y 30,95 en chorizo "sarta", salchichón y chorizo "vela" respectivamente, que se redujeron, en la mayoría de los lotes de forma significativa, durante el almacenamiento en refrigeración hasta valores finales de 29,14-32,10, 31,12-31,97 y 29,17-30,32 en chorizo "sarta", salchichón y chorizo "vela" respectivamente. Esta disminución de los valores de luminosidad podría ser debida a que durante el almacenamiento de los embutidos envasados, éstos continúan perdiendo humedad, y esto origina un oscurecimiento de la carne (Liaros y col., 2009). Al igual que en el presente trabajo, Gök y col. (2008) encontraron una disminución de la luminosidad en pastirma (un producto cárnico curado elaborado a partir de carne de ternera) durante los primeros 60 días de almacenamiento independientemente del tipo de envasado (aire, vacío y

atmósferas con 65% N₂ + 35% CO₂). En cambio, Summo y col. (2006), no encontraron diferencias significativas para los valores de luminosidad en embutidos envasados al vacío tras su almacenamiento durante 40 días. Hay que señalar que en el chorizo "vela" del presente trabajo, se produjo un aumento en la luminosidad del producto durante los 9 primeros meses de almacenamiento, aunque al final del almacenamiento dichos valores disminuyeron incluso por debajo del valor inicial. Summo y col. (2010a) encontraron un aumento de los valores de luminosidad en embutidos envasados al vacío a partir del tercer mes de almacenamiento, mientras que Rubio y col. (2008) también obtuvieron un ligero incremento de la luminosidad a lo largo del almacenamiento durante 210 días de salchichón tanto envasado al vacío como en 20%CO₂+80%N₂. Algunos autores han asociado el aumento de la luminosidad con la formación de una película blanca de tiroxina en la superficie de los productos loncheados (García-Esteban y col., 2004; Rubio y col., 2006).

Respecto a las diferencias entre lotes de envasado para el parámetro L*, éstas no fueron significativas (P>0.05) ni en el salchichón "sarta" ni en el chorizo "vela". Al igual que en el presente trabajo, Parra y col. (2010) tampoco observaron ningún efecto de la composición de gases sobre L* en jamón ibérico loncheado envasado tanto al vacío como en atmósferas modificadas. Sin embargo, en el chorizo tipo "sarta" sí fueron encontradas diferencias significativas en la luminosidad en todos los muestreos realizados a lo largo del almacenamiento. Tras 12 meses, los valores de luminosidad más altos se encontraron en el lote envasado al vacío (32,10 ± 0,78), mientras que los menores valores correspondieron al lote con la mezcla de gases 70%Argón/30%CO₂. Estas diferencias podrían relacionarse con una mayor deshidratación de las muestras envasadas en atmósferas modificadas debido al equilibrio que debe producirse entre éstas y el espacio de cabeza del envase, ya que como se ha mencionado, L* puede relacionarse con el contenido en humedad del producto (Liaros y col., 2009).

En cuanto a la evolución del color rojo en los distintos productos estudiados, la intensidad de color rojo (a*) se redujo significativamente en el caso del chorizo "sarta" y del chorizo "vela" en todos los lotes desde valores de 16,76±0,45 y 16,30±0,24 hasta 12,85±0,34 y 12,75±0,24 respectivamente, mientras que en el salchichón "sarta", se observó en general una reducción de la intensidad de color rojo después de 6 meses de envasado y posterior recuperación del mismo a los 9 meses para disminuir de nuevo al final del periodo de almacenamiento hasta valores de 8,22±0,18. El color de los productos cárnicos secos curados depende de su contenido en nitrosilmiglobina (MbFe(II)NO) y su decoloración se debe principalmente a la oxidación de este

pigmento (Møller y col., 2000), lo cual conlleva la formación de metamioglobina, responsable del color marrón de la carne (Lindahl y col., 2001). Al igual que en el presente trabajo de investigación, estudios anteriores han reportado una decoloración parcial transitoria de la superficie de embutidos loncheados (Zanardi y col., 2002) y de jamón pasteurizado (Andersen, 1988) envasados bajo diferentes condiciones. En esos casos y según estos autores, la decoloración fue debida al efecto de la presencia de oxígeno residual y la exposición a la luz, siendo por otra parte necesaria la exclusión del oxígeno para la recuperación del color, ya que según el ciclo del color explicado por Skibsted (1996), el color rojo de la carne curada puede ser parcialmente restablecido siempre y cuando el contenido de sustancias reductoras sea suficiente para reducir la metamioglobina a nitrosilmioglobina. La nitrosilmioglobina es muy sensible a la luz y a la presencia de oxígeno (Andersen & Skibsted, 1992; Rubio y col., 2006). En presencia de oxígeno, la nitrosilmioglobina se convierte en nitrato y metamioglobina; sin embargo, su oxidación se reduce en presencia de niveles elevados de CO₂ (Møller y col., 2005). Por lo tanto, la ausencia de oxígeno dentro del envase, así como una baja actividad de agua y la presencia de nitritos en el producto pueden contribuir a la estabilidad del color (Elías y Carrascosa, 2000). Otros autores (Summo y col., 2010a), han indicado que la disminución de la intensidad del color rojo también podría ser debida al efecto de desnaturalización causado por el ácido láctico, formado por las bacterias ácido lácticas, sobre los diferentes estados redox de la mioglobina. Gök y col (2008), al igual que nosotros, también obtuvieron una disminución de la intensidad de color rojo en pastirma envasada al vacío y en una mezcla de 65% N₂ y 35% CO₂ a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento, de la misma forma que Summo y col. (2010) en embutidos elaborados con carne de cerdo envasados al vacío. Por el contrario, Rubio y col. (2006) no encontraron cambios significativos en los valores de a* durante el almacenamiento de Cecina de León loncheada envasada tanto al vacío como en diferentes proporciones de N₂ y CO₂ durante siete meses.

Tabla IV.14: Evolución de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C y h) (media \pm error estándar), en chorizo tipo “sarta” almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMOSFERA	L^*	a^*	b^*	C	h
0	Vacío	32,40 ¹ \pm 0,80	16,76 \pm 0,45	9,95 \pm 0,40	19,52 ¹ \pm 0,56	0,53 ² \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	32,40 ¹ \pm 0,80	16,76 ¹ \pm 0,45	9,95 ¹ \pm 0,40	19,52 ¹ \pm 0,56	0,53 ² \pm 0,01
	100% N ₂	32,40 ¹ \pm 0,80	16,76 ¹ \pm 0,45	9,95 ¹ \pm 0,40	19,52 ¹ \pm 0,56	0,53 ² \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	32,40 ¹ \pm 0,80	16,76 ¹ \pm 0,45	9,95 ¹ \pm 0,40	19,52 ¹ \pm 0,56	0,53 ² \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns
6 meses	Vacío	29,17ab ² \pm 0,45	14,46ab ² \pm 0,39	8,86ab \pm 0,29	16,99ab ² \pm 0,45	0,55 ¹² \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	28,57b ² \pm 0,38	13,38b ³ \pm 0,34	8,24b ² \pm 0,30	15,73b ³ \pm 0,43	0,55 ¹² \pm 0,01
	100% N ₂	30,66a ¹² \pm 0,53	14,05ab ² \pm 0,35	9,32ab ¹² \pm 0,37	16,90b ² \pm 0,46	0,58 ¹ \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	30,54a ¹² \pm 0,51	15,04a ² \pm 0,54	9,99a ¹ \pm 0,47	18,08a ¹² \pm 0,70	0,58 ¹ \pm 0,01
	P _{envasado}	**	*	**	*	*
9 meses	Vacío	31,55ab ¹² \pm 0,52	15,19 ² \pm 0,37	9,35 \pm 0,31	17,85 ¹² \pm 0,46	0,55 ¹² \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	31,95a ¹ \pm 0,62	14,91 ² \pm 0,41	9,87 ¹ \pm 0,36	17,90 ¹² \pm 0,52	0,58 ¹ \pm 0,01
	100% N ₂	29,49b ² \pm 0,50	14,20 ² \pm 0,45	8,90 ¹² \pm 0,43	16,78 ² \pm 0,60	0,55 ¹² \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	29,83b ² \pm 0,63	13,95 ²³ \pm 0,40	9,27 ¹² \pm 0,36	16,77 ²³ \pm 0,52	0,58 ¹ \pm 0,01
	P _{envasado}	**	ns	ns	ns	*
12 meses	Vacío	32,10a ¹ \pm 0,78	14,61a ² \pm 0,44	9,79a \pm 0,42	17,62a ² \pm 0,58	0,59 ¹ \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	31,20ab ¹ \pm 0,76	14,08ab ²³ \pm 0,34	9,35ab ¹² \pm 0,38	16,94 ab ²³ \pm 0,47	0,58 ¹ \pm 0,01
	100% N ₂	30,95ab ¹² \pm 0,54	12,85b ² \pm 0,34	8,35bc ² \pm 0,34	15,35b ² \pm 0,45	0,57 ¹² \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	29,14b ² \pm 0,52	13,01b ³ \pm 0,39	7,97c ² \pm 0,34	15,27b ³ \pm 0,50	0,54 ² \pm 0,01
	P _{envasado}	*	**	**	**	*

Niveles de significación: ns=>0.05: *= p <0.05: **= p <0.01: ***= p <0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p <0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.15: Evolución de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C y h) (media \pm error estándar), en salchichón tipo “sarta” almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMOSFERA	L^*	a^*	b^*	C	h
0	Vacío	32,47 \pm 0,66	11,58 ¹ \pm 0,20	4,20 ¹ \pm 0,10	12,33 ¹ \pm 0,21	0,35 ² \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	32,47 ¹ \pm 0,66	11,58 ¹ \pm 0,20	4,20 ¹ \pm 0,10	12,33 ¹ \pm 0,21	0,35 ¹² \pm 0,01
	100% N ₂	32,47 ¹ \pm 0,66	11,58 ¹ \pm 0,20	4,20 ¹ \pm 0,10	12,33 ¹ \pm 0,21	0,35 ² \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	32,47 \pm 0,66	11,58 ¹ \pm 0,20	4,20 ¹ \pm 0,10	12,33 ¹ \pm 0,21	0,35 \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns
6 meses	Vacío	30,86 \pm 0,50	8,78 ³ \pm 0,17	3,16 ³ \pm 0,07	9,33 ³ \pm 0,18	0,35 ² \pm 0,00
	70%N ₂ /30%CO ₂	29,79 ² \pm 0,39	8,33 ⁴ \pm 0,17	2,98 ³ \pm 0,08	8,86 ⁴ \pm 0,17	0,35 ² \pm 0,01
	100% N ₂	29,98 ² \pm 0,46	8,54 ³ \pm 0,13	3,03 ³ \pm 0,07	9,06 ³ \pm 0,15	0,34 ² \pm 0,00
	70%Argón/30%CO ₂	30,43 \pm 0,64	8,31 ² \pm 0,16	3,00 ³ \pm 0,08	8,84 ² \pm 0,17	0,35 \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacío	30,65 \pm 0,51	9,62ab ² \pm 0,15	3,78a ² \pm 0,09	10,34ab ² \pm 0,16	0,37 ¹ \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	31,04 ¹² \pm 0,42	9,82a ² \pm 0,15	3,82a ² \pm 0,07	10,54a ² \pm 0,16	0,37 ¹ \pm 0,00
	100% N ₂	30,95 ¹² \pm 0,51	9,21bc ² \pm 0,15	3,64ab ² \pm 0,08	9,91b ² \pm 0,16	0,38 ¹ \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	32,21 \pm 0,63	8,71c ² \pm 0,12	3,36b ² \pm 0,08	9,35c ² \pm 0,13	0,37 \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	***	***	***	ns
12 meses	Vacío	31,97 \pm 0,53	8,85a ³ \pm 0,13	3,28ab ³ \pm 0,07	9,44ab ³ \pm 0,14	0,36 ¹² \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	31,12 ¹² \pm 0,52	9,17a ³ \pm 0,17	3,49a ² \pm 0,10	9,82a ³ \pm 0,19	0,36 ¹² \pm 0,01
	100% N ₂	31,66 ¹² \pm 0,43	8,57ab ³ \pm 0,19	3,13b ³ \pm 0,10	9,12b ³ \pm 0,21	0,35 ² \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	31,47 \pm 0,63	8,22b ² \pm 0,18	3,00b ³ \pm 0,10	8,76c ² \pm 0,20	0,35 \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	**	**	**	ns

Niveles de significación: ns=>0.05: *= p <0.05: **= p <0.01: ***= p <0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p <0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.16: Evolución de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C y h) (media \pm error estándar), en chorizo tipo “vela” almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMOSFERA	L^*	a^*	b^*	C	h
0	Vacío	30,95 ¹² \pm 0,31	16,30 ¹ \pm 0,24	8,84 \pm 0,26	18,38 ¹ \pm 0,38	0,49 ² \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	30,95 ¹ \pm 0,31	16,30 ¹ \pm 0,24	8,84 ¹ \pm 0,26	18,38 ¹ \pm 0,38	0,49 ² \pm 0,01
	100% N ₂	30,95 \pm 0,31	16,30 ¹ \pm 0,24	8,84 \pm 0,26	18,38 ¹ \pm 0,38	0,49 ² \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	30,95 ¹² \pm 0,31	16,30 ¹ \pm 0,24	8,84 \pm 0,26	18,38 ¹ \pm 0,38	0,49 ² \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns
6 meses	Vacío	31,62 ¹² \pm 0,47	15,33a ¹² \pm 0,31	9,26 \pm 0,25	17,93 ¹ \pm 0,38	0,54 ¹ \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	30,86 ¹ \pm 0,44	14,56ab ² \pm 0,32	8,75 ¹² \pm 0,34	17,01 ¹² \pm 0,43	0,54 ¹ \pm 0,01
	100% N ₂	31,09 \pm 0,51	14,33ab ² \pm 0,28	8,83 \pm 0,32	16,86 ² \pm 0,39	0,55 ¹ \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	31,06 ¹² \pm 0,55	13,97b ² \pm 0,37	8,43 \pm 0,33	16,35 ² \pm 0,46	0,54 ¹ \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	*	ns	ns	ns
9 meses	Vacío	32,43 ¹ \pm 0,53	14,62 ²³ \pm 0,32	9,41 \pm 0,35	17,40 ¹² \pm 0,45	0,57 ¹ \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	31,10 ¹ \pm 0,53	13,50 ²³ \pm 0,31	8,24 ¹² \pm 0,34	15,84 ²³ \pm 0,42	0,54 ¹ \pm 0,01
	100% N ₂	31,96 \pm 0,50	13,99 ² \pm 0,33	8,51 \pm 0,32	16,39 ²³ \pm 0,43	0,54 ¹ \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	31,77 ¹ \pm 0,50	14,26 ² \pm 0,28	8,69 \pm 0,33	16,73 ² \pm 0,39	0,54 ¹ \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacío	30,20 ² \pm 0,53	13,47 ³ \pm 0,41	8,16 \pm 0,31	15,78 ² \pm 0,49	0,54 ¹ \pm 0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	29,17 ² \pm 0,31	12,90 ³ \pm 0,29	7,51 ² \pm 0,29	14,94 ³ \pm 0,39	0,52 ¹² \pm 0,01
	100% N ₂	30,32 \pm 0,48	12,75 ³ \pm 0,24	8,02 \pm 0,26	15,09 ³ \pm 0,32	0,56 ¹ \pm 0,01
	70%Argón/30%CO ₂	29,55 ² \pm 0,37	13,19 ² \pm 0,27	8,19 \pm 0,31	15,55 ² \pm 0,38	0,55 ¹ \pm 0,01
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05: *= p <0.05: **= p <0.01: ***= p <0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p <0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Respecto a las diferencias debidas a la composición de gases del envase, tanto en chorizo “sarta” como en chorizo “vela”, las muestras envasadas al vacío presentaron los mayores valores de a^* y C (14,61 y 17,62 en chorizo “sarta” y 13,47 y 15,78 en chorizo “vela”) después de 12 meses de almacenamiento, si bien en este último producto, el chorizo tipo “vela”, las diferencias no alcanzaron valores de significación estadística (P >0.05). Por el contrario los productos envasados en una atmósfera con 100% de N₂ mostraron los menores valores de a^* y C , indicando una oxidación más intensa del pigmento en las muestras envasadas en este gas. En contraposición los resultados obtenidos por Zanardi y col. (2002), mostraron una mayor eficiencia del envasado en atmósferas con 100% N₂ a la hora de evitar la oxidación del pigmento en embutidos loncheados almacenados en refrigeración y

expuestos a luz fluorescente en comparación con embutidos envasados al vacío. En el caso del salchichón “sarta”, fueron las muestras envasadas con una mezcla de 70% N₂+30% CO₂ las que presentaron una mayor intensidad de color rojo (a*) y saturación del color (C) después de 12 meses de almacenamiento, y aquellas envasadas con 70%Argón + 30%CO₂, las que menores valores de los parámetros a* y C obtuvieron al final de dicho periodo (P<0.01). Rubio y col. (2008), también obtuvieron mayores valores de a* y C en las muestras de salchichón envasadas en atmósferas que contenían 20%CO₂+80%N₂ que en aquellas envasadas al vacío después de 210 días de almacenamiento. De forma similar, Parra y col. (2010), encontraron valores más altos para los parámetros a* y C en las muestras de jamón envasadas al vacío después de 60 días de almacenamiento. En cuanto al parámetro b*, éste se relaciona normalmente con la oxidación lipídica (Rubio y col., 2008). Hay que señalar que los valores iniciales de b* tanto en chorizo tipo “sarta” como en chorizo “vela” fueron mucho mayores que en el salchichón (9.95 y 8.84 vs. 4.20), lo cual podría ser debido a la inclusión de pimentón en la formulación, ya que esta especia contiene altas cantidades de pigmentos que pueden aumentar los valores de b* (Fernández-López y col., 2002). Tanto en chorizo como en salchichón “sarta” se observó una disminución de b*, en general significativa, tras 12 meses envasados en todas las atmósferas estudiadas. En el caso del chorizo “vela”, esta reducción también tuvo lugar pero no alcanzó valores de significación estadística (P>0.05). Otros autores (Rubio y col., 2008; Summo y col., 2010), no observaron ningún efecto del tiempo de almacenamiento sobre el parámetro b* en embutidos envasados en diferentes condiciones.

En lo que respecta al parámetro Hue, tanto en chorizo “sarta” como en chorizo “vela” se produjo un aumento de los valores en todos los lotes de envasado a lo largo del almacenamiento, mientras que en salchichón “sarta” los valores de este parámetro se mantuvieron estables tras 12 meses de almacenamiento. El aumento de Hue sugiere una transición de rojo a amarillo, probablemente debido a la oxidación de pigmentos durante el almacenamiento (Mercier y col., 1998). En cuanto a las diferencias en este parámetro debidas al envasado, únicamente fueron observadas en el chorizo “sarta”, siendo los valores más altos los correspondientes a las muestras envasadas al vacío, mientras que los más bajos los encontramos en las muestras envasadas con la mezcla de argón y CO₂. Al igual que nosotros, Rubio y col (2008) tampoco observaron diferencias en el parámetro Hue en salchichón debido al envasado.

IV.2.2.- Ratios de reflectancia

En las tablas IV.17, IV.18 y IV.19 se presentan los valores de ratios de reflectancia de la superficie de corte de chorizo tipo "sarta", salchichón y chorizo tipo "vela" almacenados en distintas atmósferas de gases en refrigeración durante 12 meses. La determinación instrumental de color mediante espectrofotometría de reflectancia es uno de los métodos más utilizados debido a su estrecha correlación con la percepción visual del ojo humano (Hunt y col., 1991). Las mediciones de la reflectancia se ven afectadas por la estructura muscular, la humedad superficial, las concentraciones de pigmentos y el contenido de grasas (Snyder, 1965), pero muchos de estos efectos pueden corregirse utilizando ratios de reflectancia en diferentes longitudes de onda, capaces de calcular las proporciones relativas de los pigmentos esenciales responsables del color (Hunt y col., 1991). Sin embargo, en los estudios en embutidos crudos curados, las variaciones encontradas en los ratios y las diferencias entre los valores de reflectancia dificultan cualquier comparación. Diferentes autores han atribuido este comportamiento a factores como el grado de picado (Fernández-López, 1998) y el contenido de grasa (Pérez-Alvarez y col., 1998). En la bibliografía sólo se han encontrado trabajos que utilizan estos ratios de reflectancia para caracterizar la materia prima o el producto final (Üren & Babayiğit, 1996), o que estudian su evolución durante alguna etapa del proceso de elaboración de los embutidos (Pérez-Álvarez y col, 1997; Üren & Babayiğit, 1997; Fernández-López y col., 2002), pero no se han encontrado referencias sobre la evolución de los mismos a lo largo del almacenamiento de éstos.

Tabla IV.17.- Ratios de reflectancia en la superficie de corte de muestras de chorizo tipo "sarta" almacenadas en distintas atmósferas de gases durante un año en refrigeración

Tiempo	Atmósfera	Índice de curado*	Índice de nitrosación (560/500)	Índice de decoloración (570/650)	Color rojo (630/580)	Color curado (650/570)
Inicial	Vacío	1.00 ¹ ±0.07	1,36±0,07	0,36 ² ±0,01	2,36 ¹ ±0,06	2,87 ¹ ±0,08
	70%N ₂ /30%CO ₂	1.00 ¹ ±0.07	1,36±0,07	0,36±0,01	2,36±0,06	2,87±0,08
	100% N ₂	1.00 ¹ ±0.07	1,36 ¹ ±0,07	0,36 ² ±0,01	2,36 ¹ ±0,06	2,87 ¹ ±0,08
	70%Argón/30%CO ₂	1.00 ¹ ±0.07	1,36 ¹ ±0,07	0,36 ² ±0,01	2,36 ¹ ±0,06	2,87 ¹ ±0,08
	P envasado	-	-	-	-	-
6 meses	Vacío	0.61 ² ±0.03	1,22±0,03	0,61a ¹ ±0,01	1,48b ² ±0,01	1,63b ² ±0,02
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.64 ² ±0.03	1,22±0,03	0,59b±0,01	1,53a±0,02	1,71a±0,02
	100% N ₂	0.58 ² ±0.02	1,20 ² ±0,03	0,62a ¹ ±0,01	1,47b ² ±0,01	1,62b ² ±0,02
	70%Argón/30%CO ₂	0.67 ² ±0.04	1,28 ¹² ±0,03	0,61a ¹ ±0,01	1,49b ² ±0,02	1,65b ² ±0,02
	P envasado	ns	ns	**	**	**
9 meses	Vacío	0.58 ² ±0.02	1,19c±0,01	0,62 ¹ ±0,01	1,45 ² ±0,01	1,62 ² ±0,02
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.63 ² ±0.03	1,26ab±0,03	0,63±0,01	1,44±0,01	1,59±0,02
	100% N ₂	0.65 ² ±0.03	1,27ab ¹² ±0,03	0,61 ¹ ±0,01	1,46 ² ±0,02	1,64 ² ±0,02
	70%Argón/30%CO ₂	0.67 ² ±0.02	1,30a ¹² ±0,02	0,63 ¹ ±0,00	1,42 ² ±0,01	1,58 ² ±0,01
	P envasado	ns	*	ns	ns	ns
12 meses	Vacío	0.67a ² ±0.04	1,27a±0,03	0,59b ¹ ±0,01	1,51a ² ±0,02	1,69a ² ±0,02
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.64ab ² ±0.03	1,25a±0,03	0,62ab±0,01	1,47ab±0,01	1,63ab±0,02
	100% N ₂	0.53c ² ±0.02	1,17b ² ±0,02	0,64a ¹ ±0,01	1,43b ² ±0,01	1,58b ² ±0,02
	70%Argón/30%CO ₂	0.57bc ² ±0.02	1,19b ² ±0,02	0,62ab ¹ ±0,01	1,46ab ² ±0,02	1,62ab ² ±0,02
	P envasado	**	*	**	***	***

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre atmósferas de envasado, P<0.05, test de Tukey

^{1,2,3}: diferentes superíndices en la misma atmósfera de envasado, indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento en congelación, P<0.05, test de Tukey.

*Índice de curado= Índice de nitrosación (560/500) – Índice de decoloración (570/650)

Tabla IV.18.- Ratios de reflectancia en la superficie de corte de muestras de salchichón almacenadas en distintas atmósferas de gases durante un año en refrigeración

Tiempo	Atmósfera	Índice de curado*	Índice de nitrosación (560/500)	Índice de decoloración (570/650)	Color rojo (630/580)	Color curado (650/570)
Inicial	Vacío	0.46 ¹ ±0.01	0,90 ² ±0,01	0,44 ² ±0,01	2,03 ¹ ±0,03	2,28 ² ±0,05
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.46 ¹ ±0.01	0,90 ² ±0,01	0,44 ² ±0,01	2,03 ² ±0,03	2,28 ² ±0,05
	100% N ₂	0.46 ¹ ±0.01	0,90 ² ±0,01	0,44 ² ±0,01	2,03 ² ±0,03	2,28 ² ±0,05
	70%Argón/30%CO ₂	0.46 ¹ ±0.01	0,90 ² ±0,01	0,44 ² ±0,01	2,03 ¹ ±0,03	2,28 ¹ ±0,05
	P envasado	-	-	-	-	-
6 meses	Vacío	0.33 ² ±0.01	0,94 ¹ ±0,00	0,61 ¹ ±0,01	1,49 ² ±0,01	1,64 ¹ ±0,02
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.33 ² ±0.01	0,94 ¹ ±0,00	0,61 ¹ ±0,01	1,48 ¹ ±0,01	1,64 ¹ ±0,02
	100% N ₂	0.32 ² ±0.01	0,94 ¹ ±0,00	0,62 ¹ ±0,00	1,47 ¹ ±0,01	1,61 ¹ ±0,01
	70%Argón/30%CO ₂	0.32 ² ±0.01	0,94 ¹ ±0,00	0,63 ¹ ±0,01	1,45 ² ±0,01	1,60 ² ±0,02
	P envasado	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacío	0.35a ² ±0.01	0,95 ¹ ±0,00	0,60ab ¹ ±0,01	1,50a ² ±0,01	1,66b ¹ ±0,02
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.35a ² ±0.01	0,94 ¹ ±0,00	0,59b ¹ ±0,01	1,52a ¹ ±0,01	1,69a ¹ ±0,02
	100% N ₂	0.36a ^{2,3} ±0.01	0,95 ¹ ±0,00	0,59b ¹ ±0,01	1,51a ¹ ±0,02	1,69a ¹ ±0,02
	70%Argón/30%CO ₂	0.32b ² ±0.01	0,94 ¹ ±0,00	0,62a ¹ ±0,01	1,46b ² ±0,01	1,61c ² ±0,01
	P envasado	***	ns	***	**	***
12 meses	Vacío	0.34a ² ±0.01	0,95 ¹ ±0,00	0,61b ¹ ±0,01	1,49ab ² ±0,01	1,65ab ¹ ±0,01
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.35a ² ±0.01	0,95 ¹ ±0,00	0,60b ¹ ±0,01	1,51a ¹ ±0,02	1,68a ¹ ±0,03
	100% N ₂	0.34a ³ ±0.01	0,95 ¹ ±0,00	0,61b ¹ ±0,01	1,50a ¹ ±0,02	1,66ab ¹ ±0,02
	70%Argón/30%CO ₂	0.30b ² ±0.01	0,94 ¹ ±0,00	0,64a ¹ ±0,01	1,44b ² ±0,01	1,56b ² ±0,02
	P envasado	***	ns	***	**	***

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre atmósferas de envasado, P<0.05, test de Tukey

^{1,2,3}: diferentes superíndices en la misma atmósfera de envasado, indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento en congelación, P<0.05, test de Tukey.

*Índice de curado= Índice de nitrosación (560/500) – Índice de decoloración (570/650)

Tabla IV.19.- Ratios de reflectancia en la superficie de corte de muestras de chorizo tipo "vela" almacenadas en distintas atmósferas de gases durante un año en refrigeración

Tiempo	Atmósfera	Índice de curado*	Índice de nitrosación (560/500)	Índice de decoloración (570/650)	Color rojo (630/580)	Color curado (650/570)
Inicial	Vacío	1.44 ¹ ±0.08	1,32±0,04	0,36 ³ ±0,01	2,30 ¹ ±0,05	2,80 ¹ ±0,07
	70%N ₂ /30%CO ₂	1.44 ¹ ±0.08	1,32 ¹ ±0,04	0,36 ³ ±0,01	2,30 ¹ ±0,05	2,80 ¹ ±0,08
	100% N ₂	1.44 ¹ ±0.08	1,32 ¹ ±0,04	0,36 ² ±0,01	2,30 ¹ ±0,05	2,80 ¹ ±0,07
	70%Argón/30%CO ₂	1.44 ¹ ±0.08	1,32 ¹ ±0,04	0,36 ² ±0,01	2,30 ¹ ±0,06	2,80 ¹ ±0,09
	P _{envasado}	-	-	-	-	-
6 meses	Vacío	0.65 ² ±0.04	1,21±0,02	0,54 ² ±0,01	1,61 ² ±0,02	1,86±0,03 ²
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.66 ² ±0.03	1,18 ² ±0,03	0,55 ¹² ±0,01	1,59 ² ±0,02	1,83±0,03 ²
	100% N ₂	0.61 ² ±0.03	1,17 ² ±0,02	0,56 ¹ ±0,01	1,57 ² ±0,01	1,81±0,02 ²
	70%Argón/30%CO ₂	0.64 ² ±0.04	1,17 ² ±0,02	0,56 ¹ ±0,01	1,57 ² ±0,02	1,81±0,02 ²
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacío	0.55 ² ±0.03	1,25±0,03	0,56 ¹ ±0,01	1,55 ²³ ±0,02	1,78 ²³ ±0,02
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.56 ² ±0.04	1,20 ² ±0,04	0,57 ² ±0,01	1,52 ² ±0,02	1,75 ² ±0,02
	100% N ₂	0.55 ² ±0.03	1,20 ² ±0,03	0,59 ¹ ±0,01	1,51 ² ±0,02	1,72 ² ±0,03
	70%Argón/30%CO ₂	0.61 ² ±0.03	1,22 ² ±0,03	0,57 ¹ ±0,01	1,54 ² ±0,02	1,77 ² ±0,02
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacío	0.50 ² ±0.04	1,21±0,02	0,58 ¹ ±0,01	1,50 ³ ±0,03	1,71 ³ ±0,02
	70%N ₂ /30%CO ₂	0.57 ² ±0.03	1,71 ² ±0,03	0,58 ¹ ±0,01	1,51 ² ±0,02	1,74 ² ±0,03
	100% N ₂	0.48 ² ±0.03	1,22 ² ±0,02	0,59 ¹ ±0,01	1,50 ² ±0,03	1,70 ² ±0,02
	70%Argón/30%CO ₂	0.54 ² ±0.03	1,20 ² ±0,02	0,58 ¹ ±0,01	1,50 ² ±0,03	1,74 ² ±0,03
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05; * = p<0.05; ** = p<0.01; *** = p<0.001.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre atmósferas de envasado, P<0,05, test de Tukey

^{1,2,3}: diferentes superíndices en la misma atmósfera de envasado, indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento en congelación, P<0,05, test de Tukey,

*Índice de curado= Índice de nitrosación (560/500)– Índice de decoloración (570/650)

El índice de nitrosación (560/500) es uno de los los parámetros más utilizados para describir el color de los productos cárnicos curados (Üren & Babayiğit, 1996). Este índice se calcula mediante el cociente de los valores de reflectancia a 560 y 500 nm, y representa la proporción relativa de pigmentos nativos con ion Fe²⁺ (forma reducida) y de los pigmentos con Fe²⁺ (forma reducida) pero estabilizados por nitrosación. Es decir, este índice muestra la relación entre la concentración de mioglobina/nitrosilmioglobina, ya que la mioglobina y oximioglobina tienen coeficientes de absorción molar similares a 500 nm, y la nitrosilmioglobina posee un máximo de absorbancia a 560 nm (Giddey, 1966; Chasco y col., 1996; Üren & Babayiğit, 1996;

Pérez-Álvarez y col., 1997). En este sentido, al ser este índice una medida de la nitrosación del pigmento permite estimar la eficiencia de la técnica de curado (Giddey, 1966; Pérez-Álvarez y col., 1997). Así, valores bajos en el índice de nitrosación indican una alta conversión de mioglobina y oximioglobina a nitrosilmioglobina (Üren & Babayiğit, 1997). Por otra parte, durante el almacenamiento del producto curado, la estabilidad del color depende del grado de nitrosación de la mioglobina, ya que el nitrosopigmento es más estable que la mioglobina nativa, la cual se convierte fácilmente en metamioglobina (Giddey, 1966). Así, durante el almacenamiento de los productos curados, tiene lugar la oxidación de la nitrosilmioglobina ($MbFe^{II}NO$) en presencia de cantidades residuales de oxígeno formándose finalmente metamioglobina ($MbFe^{III}$) (**Figura IV.7**).

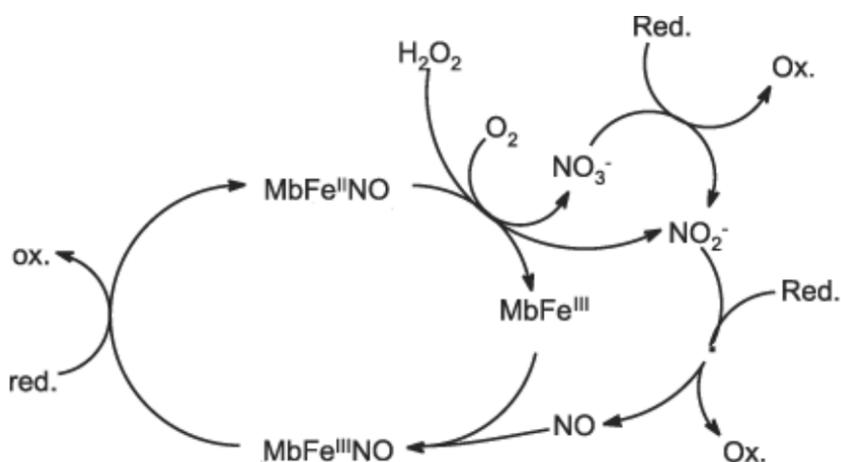


Figura IV.7: Ciclo de color de los derivados de la mioglobina en la carne curada durante el almacenamiento (Moller y Skibsted, 2006).

Respecto a la evolución del índice de nitrosación (560/500) en los distintos productos del presente trabajo, en las tablas IV.17 a IV.19 se observa que este índice se redujo con el tiempo de almacenamiento (en algunos lotes de forma significativa), en el caso de chorizo tipo "sarta" y chorizo "vela". Esta disminución progresiva durante el año de almacenamiento indica que se produjo un aumento de la conversión de mioglobina y oximioglobina a nitrosilmioglobina. En cambio, en salchichón "sarta" (tabla IV.18), se observó un claro aumento del índice de nitrosación tras 6 meses de envasado, y estos valores se mantuvieron hasta el final del periodo de almacenamiento ($P < 0.05$). Para lograr un color óptimo en los embutidos, el valor de este índice tiene que ser bajo, lo cual significa que el contenido de nitrosilmioglobina

es alto (Üren & Babayiğit, 1997; Ercoşkun y col., 2010). El aumento del índice de nitrosación indica un aumento de la cantidad de mioglobina y oximioglobina en los embutidos, y por tanto una baja estabilidad del nitrosopigmento (Martín-Sánchez y col., 2010) que podría implicar una pérdida de intensidad de color rojo de los embutidos (Üren & Babayiğit, 1997). En el caso de salchichón "sarta", como se ha mencionado en el apartado anterior, los valores de a^* y C disminuyeron durante el almacenamiento, lo cual coincide con el aumento del índice de nitrosación registrado. De hecho, se calculó una correlación significativa (tablas IV.20, IV, 21 y IV.22) entre a^* y el índice de nitrosación ($R=-0.310$; $P<0.01$) y entre C y el índice de nitrosación ($R=-0.241$; $P<0.01$). No obstante, en el caso de chorizo "sarta" y "vela" esta correlación no fue patente ya que como se ha mencionado en el apartado anterior, a^* y C disminuyeron progresivamente durante el almacenamiento ($R=0.091$; $P>0.05$; $R=0.087$; $P>0.05$) (y el índice de nitrosación también disminuye). No se han encontrado estudios similares en productos curados almacenados en refrigeración, por lo que no es posible comparar los resultados que aquí se obtienen. Nuestros resultados sugieren que en las mismas condiciones y tiempo de almacenamiento el salchichón parece mostrar un color menos estable que los dos tipos de chorizo estudiados.

Tabla IV.20.- Coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros de color L*, a*, b*, Croma (C) y Hue (h) y los ratios de reflectancia en la superficie de corte de chorizo tipo "sarta".

	L*	a*	b*	C	h	I _{curado}	I _{nitrosación} (560/500)	I _{decoloración} (570/650)	Color rojo (630/580)	Color curado (650/570)
L*	1	,369**	,679**	,498**	,702**	,100*	-,009	-,247**	,253**	,251**
a*	,369**	1	,820**	,978**	,124**	,261**	,091	-,418**	,422**	,415**
b*	,679**	,820**	1	,921**	,658**	,136**	,057	-,198**	,205**	,198**
C	,498**	,978**	,921**	1	,321**	,230**	,087	-,354**	,359**	,352**
H	,702**	,124**	,658**	,321**	1	-,116*	-,049	,167**	-,157**	-,159**
I _{decoloración} (570/650)	-,247**	-,418**	-,198**	-,354**	,167**	-,495**	-,058	1	-,978**	-,982**
I _{nitrosación} (560/500)	,849	,054	,227	,066	,295	,000	1	,204	,341	,462
Color curado (650/570)	,251**	,415**	,198**	,352**	-,159**	,407**	-,034	-,982**	,998**	1
Color rojo (630/580)	,253**	,422**	,205**	,359**	-,157**	,397**	-,044	-,978**	1	,998**
I _{curado}	,100*	,261**	,136**	,230**	-,116*	1	,896**	-,495**	,397**	,407**

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

Tabla IV.21.- Coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros de color L*, a*, b*, Cromo (C) y Hue (h) y los ratios de reflectancia en la superficie de corte de salchichón tipo "sarta".

	L*	a*	b*	C	h	I _{curado}	I _{nitrosación} (560/500)	I _{decoloración} (570/650)	Color rojo (630/580)	Color curado (650/570)
L*	1	,110*	,233**	,143**	,342**	,160**	-,148**	-,189**	,194**	,190**
a*	,110*	1	,835**	,988**	,469**	,352**	-,310**	-,412**	,409**	,395**
b*	,233**	,835**	1	,909**	,858**	,068	-,037	-,072	,066	,063
C	,143**	,988**	,909**	1	,591**	,281**	-,241**	-,326**	,323**	,312**
H	,342**	,469**	,858**	,591**	1	-,136**	,161**	,173**	-,185**	-,178**
I _{decoloración} (570/650)	-,189**	-,412**	-,072	-,326**	,173**	-,945**	,501**	1	-,984**	-,986**
I _{nitrosación} (560/500)	-,148**	-,310**	-,037	-,241**	,161**	-,189**	1	,501**	-,557**	-,477**
Color curado (650/570)	,190**	,395**	,063	,312**	-,178**	,938**	-,477**	-,986**	,994**	1
Color rojo (630/580)	,194**	,409**	,066	,323**	-,185**	,905**	-,557**	-,984**	1	,994**
I _{curado}	,160**	,352**	,068	,281**	-,136**	1	-,189**	-,945**	,905**	,938**

Niveles de significación: ns=>0.05: *= $p<0.05$: **= $p<0.01$: ***= $p<0.001$.

Tabla IV.22.- Coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros de color L*, a*, b*, Croma (C) y Hue (h) y los ratios de reflectancia en la superficie de corte de chorizo tipo "vela".

	L*	a*	b*	C	h	I _{curado}	I _{nitrosación} (560/500)	I _{decoloración} (570/650)	Color rojo (630/580)	Color curado (650/570)
L*	1	,394**	,746**	,215**	,352**	,003	,176**	-,045	,073	,060
a*	,394**	1	,768**	,566**	-,058	,448**	,311	-,548**	,555**	,536**
b*	,746**	,768**	1	,402**	,317**	,075	,244**	-,155**	,164**	,152**
C	,215**	,566**	,402**	1	,398**	,338**	,310	-,442**	,445**	,428**
H	,352**	-,058	,317**	,398**	1	-,394**	,072	,365**	-,359**	-,359**
I _{decoloración} (570/650)	-,045	-,548**	-,155**	-,442**	,365**	-,935**	-,228**	1	-,976**	-,981**
I _{nitrosación} (560/500)	,176**	,311**	,244**	,310**	,072	-,072	1	-,228**	,285**	,255**
Color curado (650/570)	,060	,536**	,152**	,428**	-,359**	,946**	,255**	-,981**	,995**	1
Color rojo (630/580)	,073	,555**	,164**	,445**	-,359**	,931**	,285**	-,976**	1	,995**
I _{curado}	,003	,448**	,075	,338**	-,394**	1	-,072	-,935**	,931**	,946**

Niveles de significación: ns=>0.05: *= $p < 0.05$: **= $p < 0.01$: ***= $p < 0.001$.

Con respecto a las diferencias debidas al tipo de envasado, salvo alguna excepción puntual en el caso del chorizo tipo "sarta" no se observaron diferencias significativas para el índice de nitrosación (560/500).

El color de los productos curados depende principalmente de las modificaciones químicas de los pigmentos naturales de la carne debido a su reacción con el cloruro sódico y las sales de curado (nitratos y nitritos). La decoloración del producto puede ser determinada también por el ratio (570/650), mediante la estimación de la proporción relativa de pigmentos con Fe^{2+} (Mb, OMb y NOMb) y pigmentos con Fe^{3+} (MetMb) presentes en la superficie de las muestras (Mb + OMb + NOMb / MetMb)

(Martín-Sánchez, 2010). El índice de decoloración (570/650) es una estimación de la proporción de pigmentos con Fe^{2+} y con Fe^{3+} presentes en la muestra (Giddey, 1966) y es otro de los parámetros más utilizados para describir el color de los productos cárnicos curados (Üren & Babayiğit, 1996). La reflectancia a 570 nm está relacionada con los pigmentos que contienen Fe^{2+} , es decir, la mioglobina, la oximioglobina y la nitrosilmioglobina, mientras que la reflectancia a 650 nm indica el nivel de pigmentos que contienen Fe^{3+} , la metamioglobina (Üren & Babayiğit, 1997; Ercoşkun y col., 2010). Por tanto, lo más conveniente para el color del producto curado es que este índice de decoloración (570/650) se mantenga bajo (Üren & Babayiğit, 1996; Ercoşkun y col., 2010). Hunt y col., (1991) establecieron las siguientes relaciones entre la relación 570/650 y la intensidad del color curado: sin color curado=0.91; transición moderada= 0.63; poca intensidad pero notable color curado de 0.59 a 0.5; y excelente color curado de 0.45 a 0.38 curados (Hunt y col., 1991).

En el presente estudio, el índice de decoloración (570/650) sufrió un aumento significativo ($P<0.05$) después de 6 meses de almacenamiento con respecto a los valores iniciales (0.36, 0.44 y 0.36 para chorizo "sarta", salchichón, y chorizo "vela", respectivamente) en todos los tipos de productos analizados y en todos los lotes. Los valores finales estaban en el rango de 0.59-0.64, 0.60-0.64 y 0.58-0.59 para chorizo "sarta", salchichón, y chorizo "vela", respectivamente. Estos valores en aumento indican unos mayores niveles de pigmentación marrón, atribuidos a la metamioglobina. Como se ha comentado anteriormente la nitrosilmioglobina se puede oxidar en presencia de cantidades residuales de oxígeno, formándose metamioglobina, de color marrón. Según Hunt y col., (1991) los valores finales descritos estarían en el rango de poca intensidad pero notable color curado. Por otra parte, la decoloración (o desvanecimiento del color) conllevaría una disminución de los valores de a^* (con o sin un cambio en L^*) (Hunt y col., 1991). De hecho se encontraron coeficientes de correlación significativos (tablas IV.19, IV.20 y IV.21) en los tres tipos de embutidos entre el índice de decoloración y el parámetro a^* y C ($R= -0,418$; $P<0,01$ en chorizo sarta; $R= -0,412$; $P<0,01$ en salchichón sarta; y $R=-0,548$; $P< 0,01$ en chorizo vela, para a^*), de forma que a medida que aumenta la decoloración de las muestras disminuye el valor de a^* y C. Además, se observó también una correlación positiva en los tres productos entre el índice de decoloración y el valor de Hue, lo cual significa que ambos parámetros evolucionan de la misma forma a lo largo del almacenamiento ($R= 0,167$; $P<0,01$ para chorizo "sarta"; $R= 0,173$; $P<0,01$ para salchichón; y $R=0,365$; $P< 0,01$ para chorizo "vela"). Al igual que nosotros, Üren & Babayiğit (1996)

observaron una correlación positiva entre el índice de decoloración y el parámetro Hue.

En cuanto a las diferencias en el índice de decoloración debidas al tipo de envasado, puede observarse que el lote envasado al vacío presentó los menores valores de índice de decoloración después de 12 meses en el caso de chorizo tipo "sarta" (0.59) ($P < 0.01$). Esto coincide con lo mencionado en el anterior apartado respecto al mayor valor de a^* en el lote envasado al vacío en el caso del chorizo "sarta" y "vela", si bien para este último producto, no hubo diferencias significativas para el índice de decoloración después de 12 meses ($P > 0.05$). En el caso del salchichón, y también coincidiendo con a^* y C, el lote envasado con 70% N_2 + 30% CO_2 presentó los menores valores del índice de decoloración y el lote 70% Argón + 30% CO_2 los mayores después de 12 meses ($P < 0.001$). No se han encontrado estudios similares en productos curados almacenados en refrigeración, por lo que no es posible comparar los resultados que aquí se obtienen respecto al índice de decoloración.

El índice de curado ha sido utilizado satisfactoriamente por Lorés y Roncalés (2009) para estudiar el color de nitrificación de un producto curado y su evolución durante su conservación. El índice de curado se obtiene de la diferencia entre el índice de nitrosación y el índice de decoloración. En las tablas IV.17, IV.18 y IV.19 se observa que el índice de curado disminuyó significativamente ($P < 0.05$) durante el año de almacenamiento en todos los productos estudiados, desde valores iniciales de 1.00, 0.46 y 1.44 en chorizo "sarta", salchichón y chorizo "vela" respectivamente, hasta valores finales de 0.53-0.67, 0.30-0.35 y 0.48-0.54 en chorizo "sarta", salchichón y chorizo "vela" respectivamente. Estos valores son similares a los encontrados por Lorés y Roncalés (2009) en jamón curado almacenado durante 60 días en refrigeración. La disminución del índice de curado se explica por la oxidación de pigmentos nitrosilados, como se ha comentado anteriormente. Como se extrae de las tablas IV.20, IV.21 y IV.22, el índice de curado está favorablemente relacionado con los parámetros a^* y C en los tres productos estudiados ($P < 0.01$).

Respecto al efecto de las atmósferas de envasado sobre el índice de curado, en la tabla IV.17 se observa que el lote envasado al vacío mostró los mayores valores del índice de curado en chorizo tipo "sarta" y el lote 100% N_2 los menores, coincidiendo de nuevo con lo explicado para los parámetros a^* y C en el apartado IV.2.1. Lorés y Roncalés (2009) también observaron que el almacenamiento en vacío lograba

mantener índices de curado más elevados que el almacenamiento en atmósferas modificadas en jamón curado, durante un tiempo de 60 días. En chorizo "vela" las diferencias no fueron significativas (Tabla IV.19). Respecto al salchichón, (tabla IV.18), al igual que para los parámetros a^* y C, fue el lote de 70%N₂ +30%CO₂ el que presentó los mayores valores de índice de curado y el lote 70%Argón +30%CO₂ los menores, después de 12 meses (P<0.001).

Por último, la relación R630/580 (Color rojo) se utiliza para estimar el grado de color rojo de las muestras (Hunt, 1980), ya que permite estimar la proporción relativa de mioglobina sin reaccionar con el nitrito (Martín-Sánchez y col., 2010). Cuanto mayor es el valor de este índice, mayor es el enrojecimiento del producto (Warren y col., 1996). En nuestro estudio, en los tres tipos de embutidos disminuyó el cociente R630/580 durante el almacenamiento, lo cual coincide con la evolución del parámetro a^* y C. De hecho, se ha calculado un coeficiente de correlación significativo entre estas dos variables para los tres tipos de embutidos (R=0,422 y R=0.359; P<0,01, en chorizo "sarta"; R=0,409 y R=0.323; P<0,01, en salchichón y R=0,555 y R=445; P<0,01, en chorizo "vela"). Respecto al efecto de las atmósferas de envasado sobre la relación 630/580, el lote envasado al vacío de chorizo "sarta" presentó los mayores valores y el lote 100%N₂ los menores (P<0.001) después de 12 meses. En chorizo "vela", no hubo diferencias significativas y en el salchichón, fue el lote 70%N₂ +30%CO₂ el que presentó los mayores valores de índice de color rojo curado y el lote 70%Argón +30%CO₂ los menores después de 12 meses (P<0.01).

IV.2.3.- SIMCA

Discriminación entre distintas mezclas de gases mediante espectros de reflectancia.

Los datos de reflectancia se han utilizado en un gran número de trabajos de investigación para estudiar cambios en el color de la carne y productos cárnicos (Møller y col., 2003; Andrés y col., 2004a). En el presente estudio, los valores de porcentaje de reflectancia a longitudes de onda desde 360 hasta 740 nm en la superficie de los embutidos curados se utilizaron para llevar a cabo un "Soft Independent Modelling of Class Analogy" (SIMCA). El objetivo de llevar a cabo el SIMCA fue el de determinar si los distintos embutidos estudiados se podrían clasificar o diferenciar en base a los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda.

Las figuras IV.7, IV.8 y IV.9 (a, b y c) representan el diagrama de Cooman que corresponde a los modelos de chorizo “sarta”, salchichón “sarta” y chorizo “vela”, respectivamente, envasados al vacío y en distintas mezclas de gases. El diagrama de Cooman muestra gráficamente las distancias de todas las muestras a dos modelos (o categorías) seleccionadas al mismo tiempo. Si una muestra pertenece a una categoría o modelo debería situarse dentro de los límites del mismo, esto es, en el cuadrante superior izquierdo o inferior derecho en el gráfico. Las muestras que están por ejemplo, cerca del origen, deben ser clasificadas como pertenecientes a ambos modelos. Si alguna muestra se localiza fuera de los límites, por ejemplo, en el cuadrante superior derecho, no pertenece a ninguno de los modelos.

Como puede observarse, las muestras de chorizo “sarta”, salchichón “sarta” y envasadas en las distintas condiciones se localizan en el cuadrante inferior izquierdo de las figuras IV.7, IV.8 y IV.9 (a, b y c), lo cual indica que no se pudieron discriminar correctamente, ya que fueron consideradas como pertenecientes a todos los modelos. Solo algunas muestras se localizan en los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho, indicando su correcta discriminación.

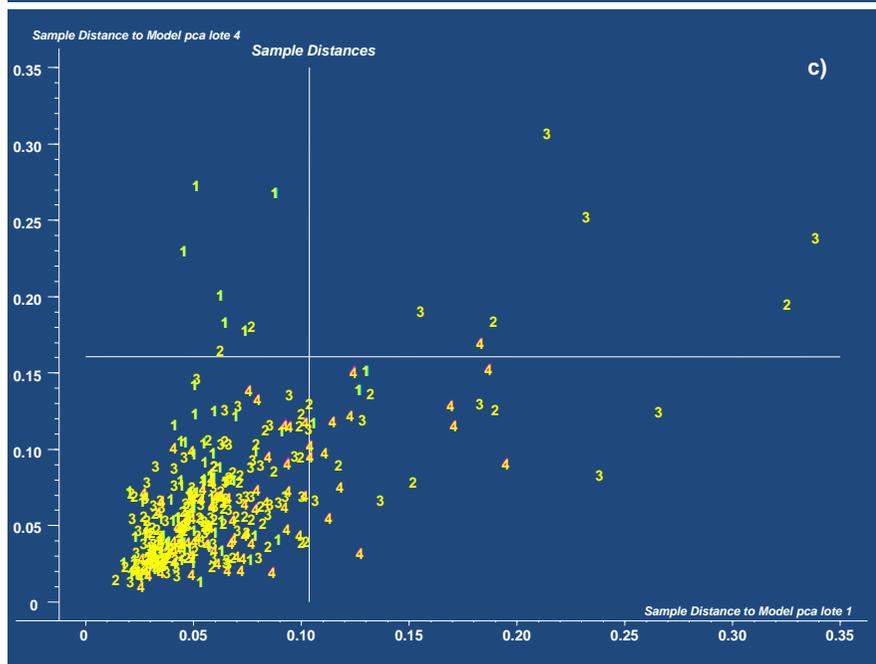
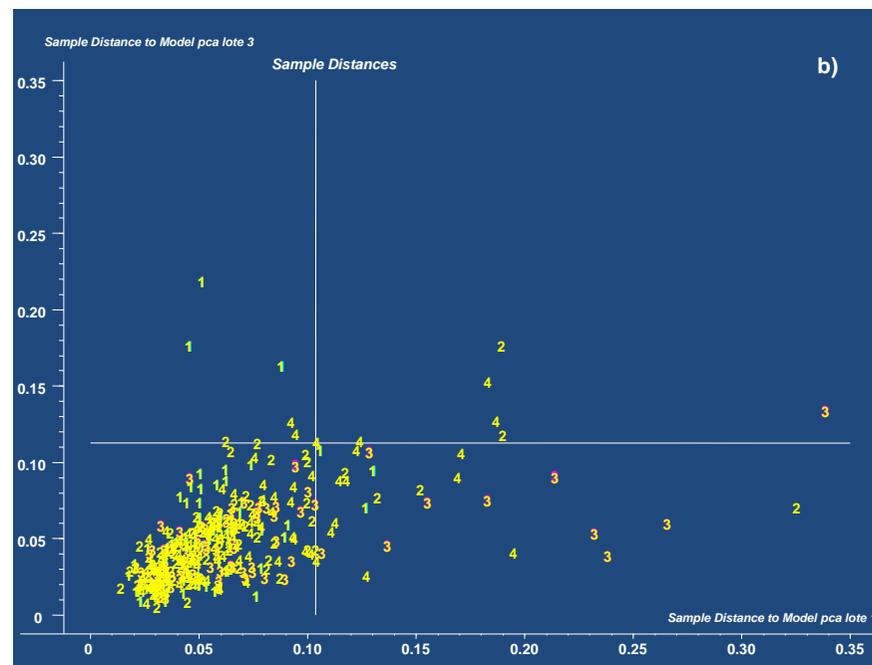
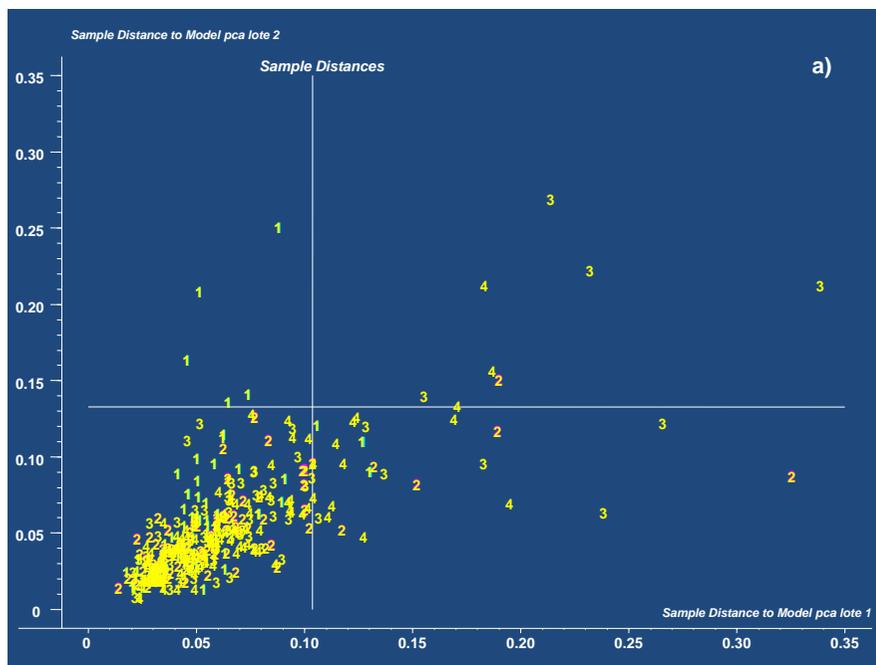


Figura IV.7.- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 360 y 740 nm para (1) chorizo "sarta" envasado al vacío (símbolo=1), (2) chorizo sarta envasado en 70% N₂+ 30% CO₂ (símbolo=2), (3) chorizo "sarta" envasado en 100% N₂ (símbolo=3) y (4) chorizo "sarta" envasado en 70% Argón + 30% CO₂ (símbolo=4).

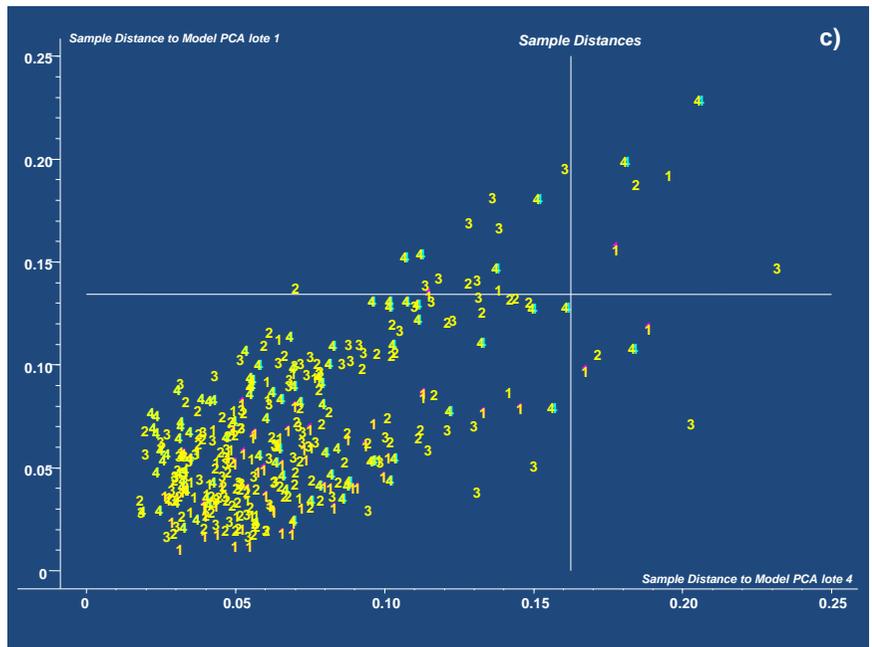
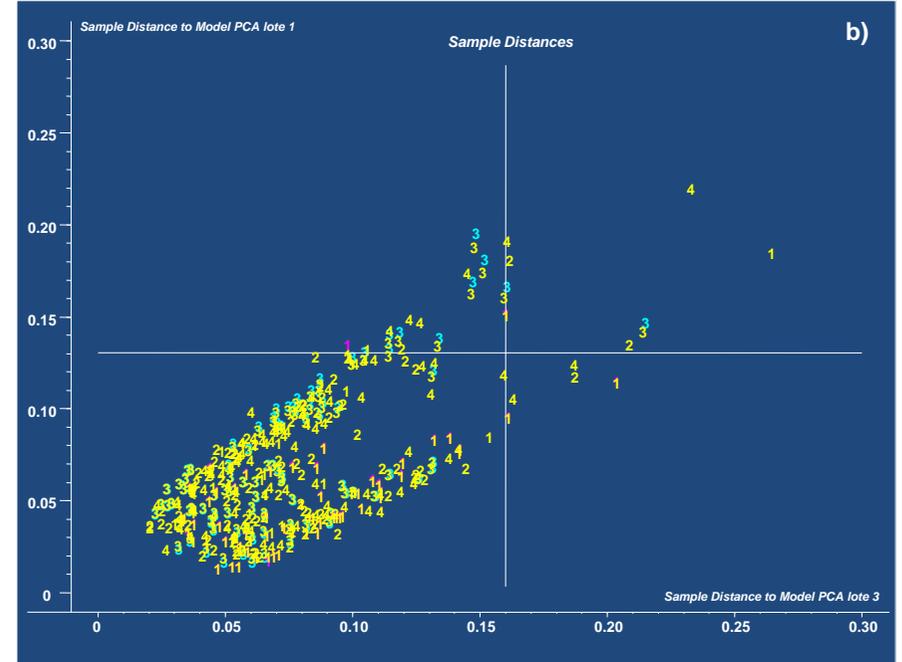
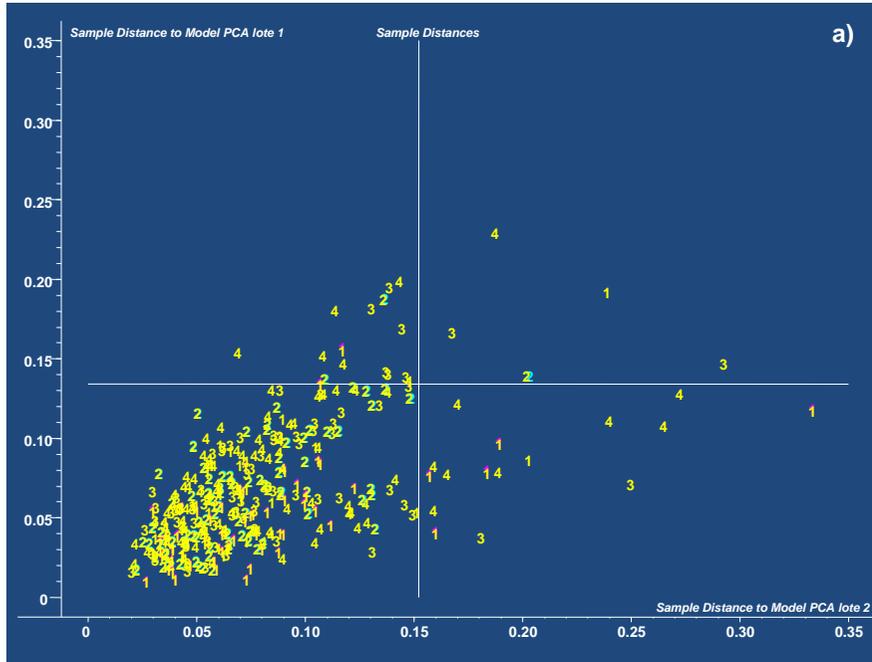


Figura IV.8 (a, b, c).- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 360 y 740 nm para (1) salchichón envasado al vacío (símbolo=1), (2) salchichón envasado en 70% N_2 + 30% CO_2 (símbolo=2), (3) salchichón envasado en 100% N_2 (símbolo=3) y (4) salchichón envasado en 70% Argón + 30% CO_2 (símbolo=4).

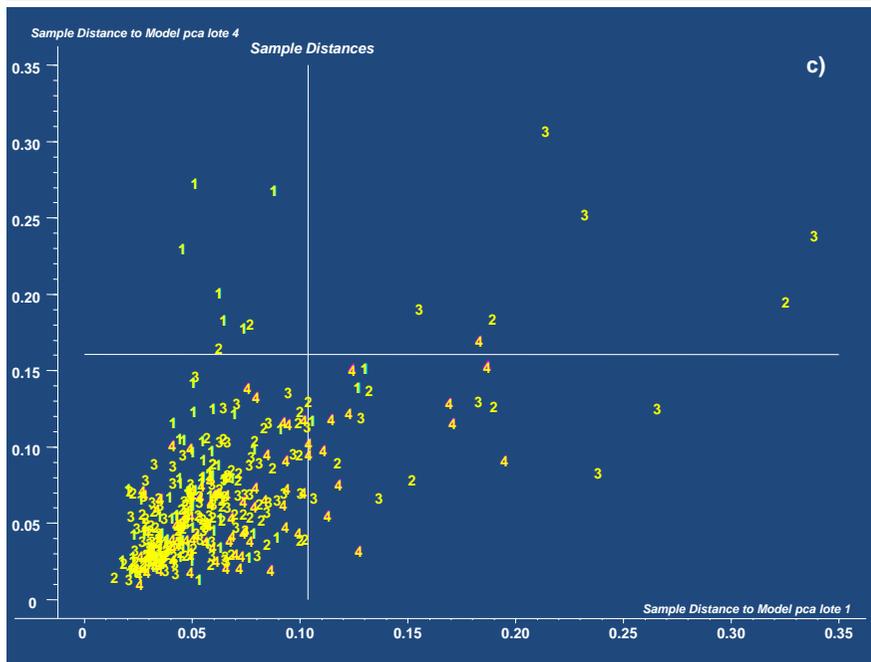
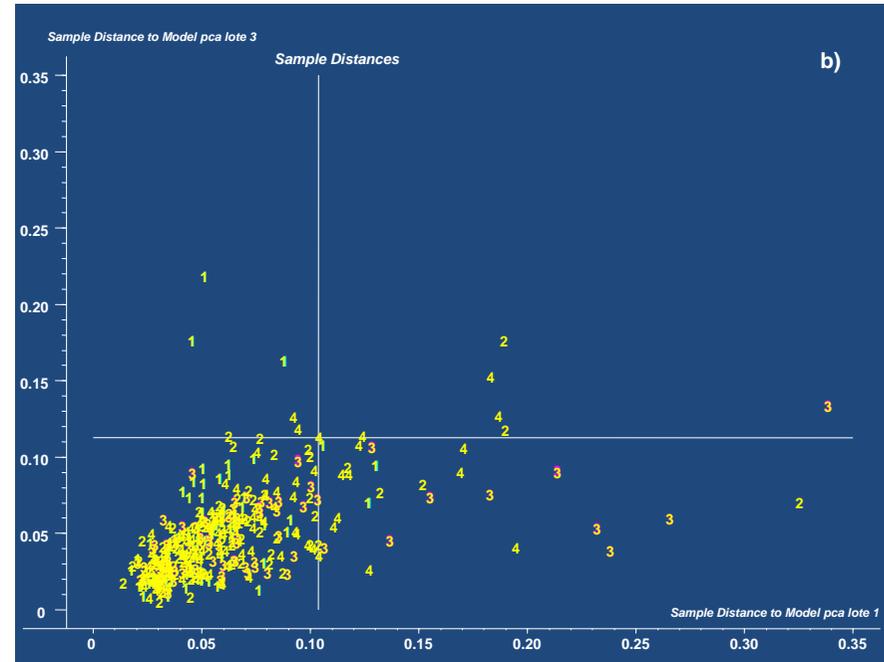
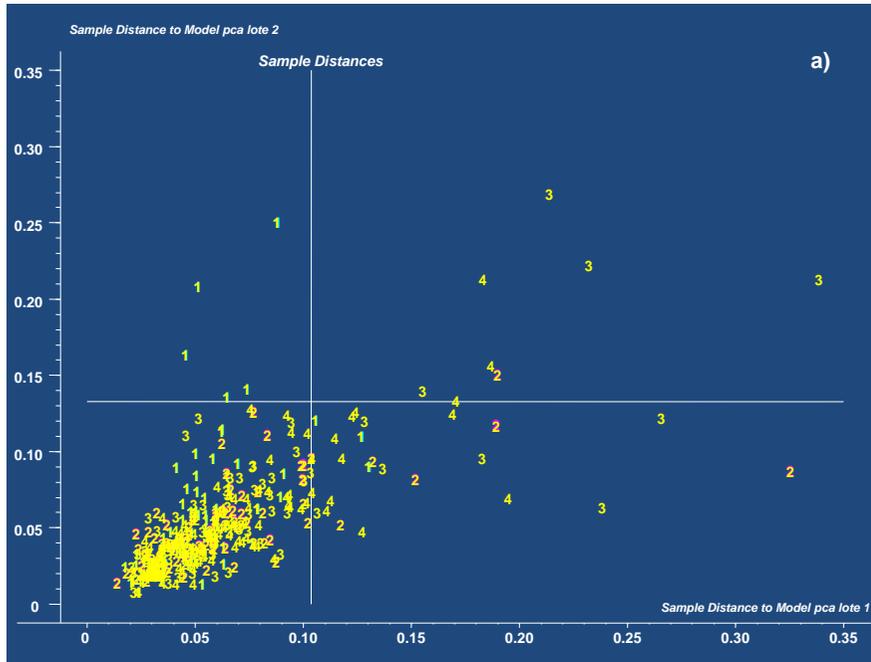


Figura IV.9 (a, b, c).- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 360 y 740 nm para (1) chorizo “vela” envasado al vacío (símbolo=1), (2) chorizo “vela” envasado en 70% N₂+ 30% CO₂ (símbolo=2), (3) chorizo “vela” envasado en 100% N₂ (símbolo=3) y (4) chorizo vela envasado en 70% Argón + 30% CO₂ (símbolo=4).

Una importante ventaja de SIMCA es su capacidad no solo para determinar si una muestra pertenece a alguna de las categorías predefinidas, sino que además, determina si no pertenece a ninguna de estas categorías. Así, la predicción de categorías de SIMCA podría terminar con dos posibles resultados: (i) la muestra fue correctamente clasificada dentro de las categorías predefinidas (ii) la muestra no se ajusta a ninguna de las categorías. En este sentido, la sensibilidad de un modelo es la proporción de muestras de una categoría, que el modelo reconoce correctamente, mientras que la especificidad es la proporción de muestras que no pertenecen a una categoría y que son correctamente rechazadas. La tabla IV.23 muestra los resultados de la clasificación de SIMCA basados en la sensibilidad y especificidad de modelo SIMCA realizado.

Tabla IV.23.- Sensibilidad y especificidad de los modelos obtenidos con SIMCA de salchichón, chorizo “vela” y chorizo “sarta” envasados al vacío (1), en 70% N₂+ 30% CO₂ (2), en 100% N₂ (3) y en 70% Argón + 30% CO₂ (4).

Categoría	Sensibilidad(%)^a	Especificidad (%)^b
Chorizo “sarta”		
1	85/90(94.44%)	16/270(5.92%)
2	85/90(94.44%)	16/270(5.92%)
3	85/90(94.44%)	23/270(8.51%)
4	87/90(96.66%)	19/270(7.03%)
Salchichón “sarta”		
1	84/90(93.33%)	33/270(12.22%)
2	85/90(94.44%)	24/270(8.88%)
3	84/90(93.33%)	21/270(7.77%)
4	85/90(94.44%)	24/270(8.88%)
Chorizo “vela”		
1	85/90(94.44%)	27/270(10.00%)
2	86/90(95.55%)	21/270(7.77%)
3	84/90(93.33%)	18/270(6.66%)
4	86/90(95.55%)	28/270(10.37%)

^a La sensibilidad máxima en un modelo óptimo es de 100%

^b La especificidad máxima en un modelo óptimo es de 100%

Un alto porcentaje de muestras fueron correctamente clasificadas, 1, 2, 3 y 4 (85.55-96.66%). Sin embargo, la especificidad de las clasificaciones fue muy baja (5.92-12.22%).

También se determinó el poder de discriminación y de creación de modelos ("modelling power") de las variables espectrales (no se muestran los datos). Ninguna variable individual (reflectancia a una determinada longitud de onda) o grupo de variables contribuyó de forma significativa y única en los modelos realizados con SIMCA, por lo que no había posibilidad de mejorar la clasificación o discriminación.

Por otra parte, los modelos obtenidos por SIMCA permiten la obtención de distancias interclase; cuanto más distancia entre dos grupos, mejor separación. Las distancias interclases de las categorías de este estudio se presentan en la tabla IV.24.

Tabla IV. 24.- Distancia interclase o intercategoría para salchichón salchichón, chorizo vela y chorizo sarta envasados al vacío (1), en 70% N₂+ 30% CO₂ (2), en 100% N₂ (3) y en 70% Argón + 30% CO₂ (4).

Categoría	Nº de CP ^a	1 ^b	2	3	4
Chorizo "sarta"					
1	4	1	2.15	2.53	1.46
2	4	2.15	1	1.69	1.69
3	4	2.53	1.69	1	1.65
4	4	1.46	1.69	1.65	1
Salchichón "sarta"					
1	4	1	1.63	1.62	1.55
2	4	1.63	1	1.35	1.35
3	4	1.62	1.35	1	1.22
4	4	1.55	1.35	1.22	1
Chorizo "vela"					
1	4	1	1.96	2.46	2.00
2	4	1.96	1	1.67	1.33
3	4	2.46	1.67	1	1.61
4	4	2.00	1.33	1.61	1

^a Número de componentes principales (CP) en el modelo óptimo

^b Distancias interclase de 3 o mayor indican una buena separación entre clases.

Como norma, una distancia mayor que 3 indica que las muestras se separan bien y son por tanto, diferentes (He y col., 2007). Una distancia al modelo, de aproximadamente 1 sugiere que los dos modelos son virtualmente idénticos (con respecto a los datos analizados). La distancia de un modelo a si mismo es por supuesto, 1.0. Una distancia entre 1 y 3, indica que los modelos se superponen hasta cierto punto (Esbesen, 2002). Todas las distancias interclases no alcanzaron ni siquiera el valor de 2, lo que indica que los modelos SIMCA desarrollados no pueden discriminar la reflectancia de los embutidos en las distintas condiciones de envasado con un límite de confianza del 95%.

Discriminación de embutidos entre distintas distintos tiempos de almacenamiento mediante espectros de reflectancia.

Las figuras IV.10, IV.11 y IV.12 (a y b) representan el diagrama de Cooman que corresponde a los modelos de muestras de chorizo sarta, salchichón sarta y chorizo vela, respectivamente, no envasados (1) y envasados y almacenados en refrigeración durante 180 (2), 270 días (3) y 365 (4). Puede observarse que la mayoría de las muestras se localizan en el cuadrante inferior izquierdo, lo cual indica que estas no pudieron discriminarse correctamente en base a los porcentajes de reflectancia.

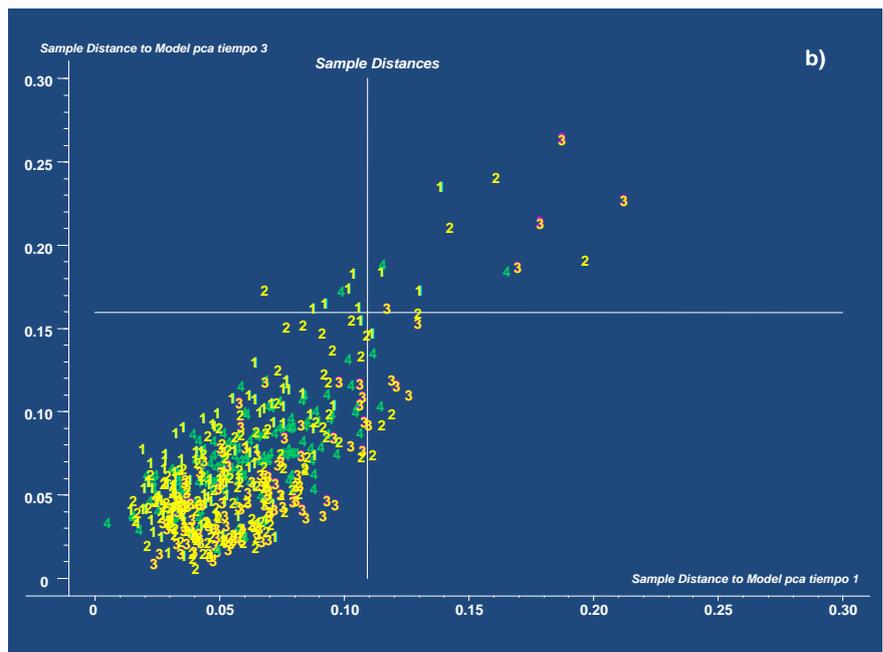
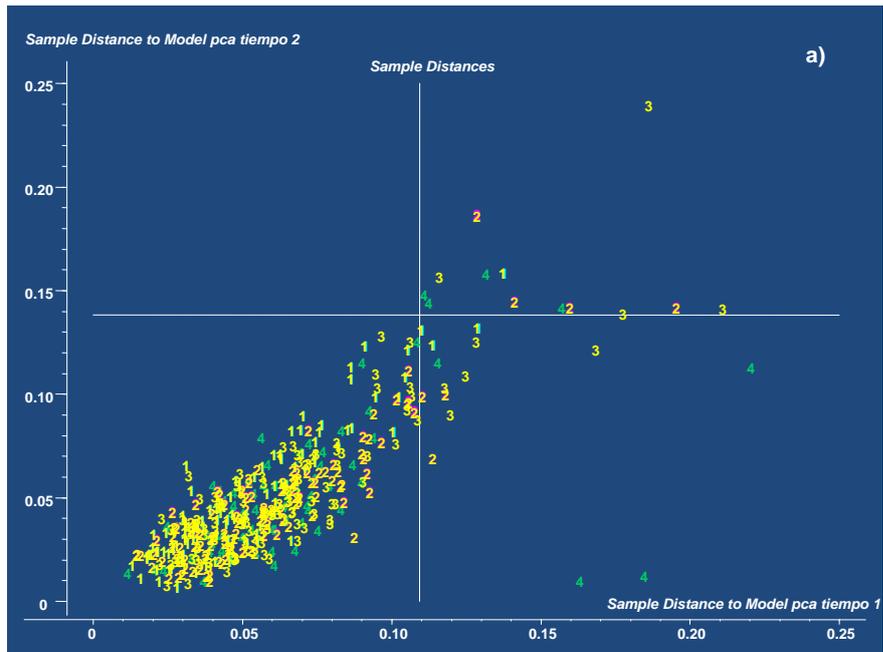


Figura IV.10.- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 360 y 740 nm para (1) chorizo “sarta” no envasado, (2) chorizo “sarta” envasado y refrigerado durante 180 días, (3) chorizo “sarta” envasado y refrigerado durante 240 días y (4) chorizo “sarta” envasado y refrigerado durante 365 días.

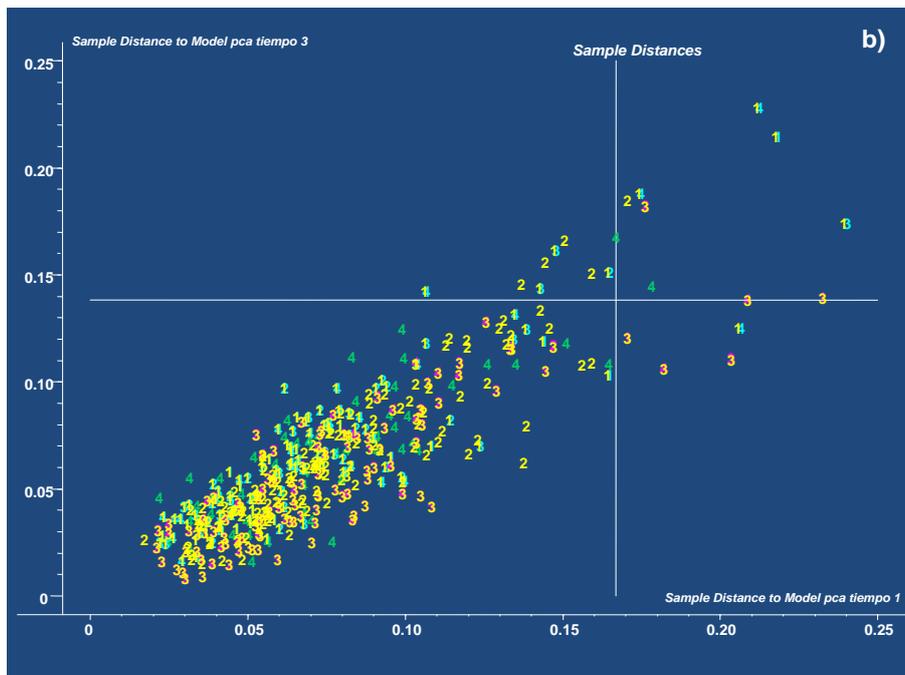
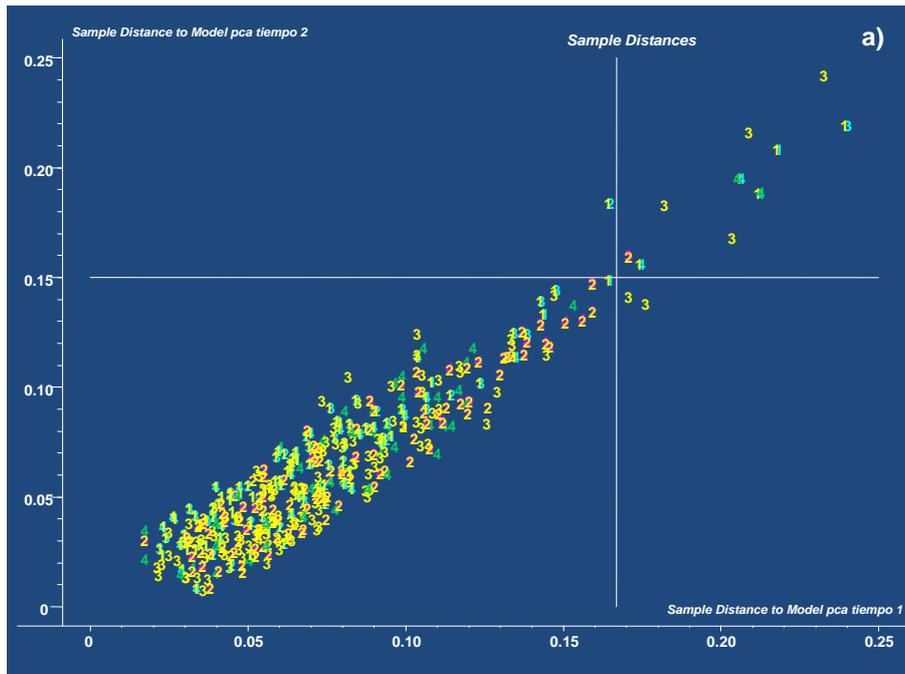


Figura IV.11.- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 360 y 740 nm para (1) salchichón no envasado, (2) salchichón envasado y refrigerado durante 180 días (3) salchichón envasado y refrigerado durante 270 días, y (4) salchichón envasado y refrigerado durante 365 días.

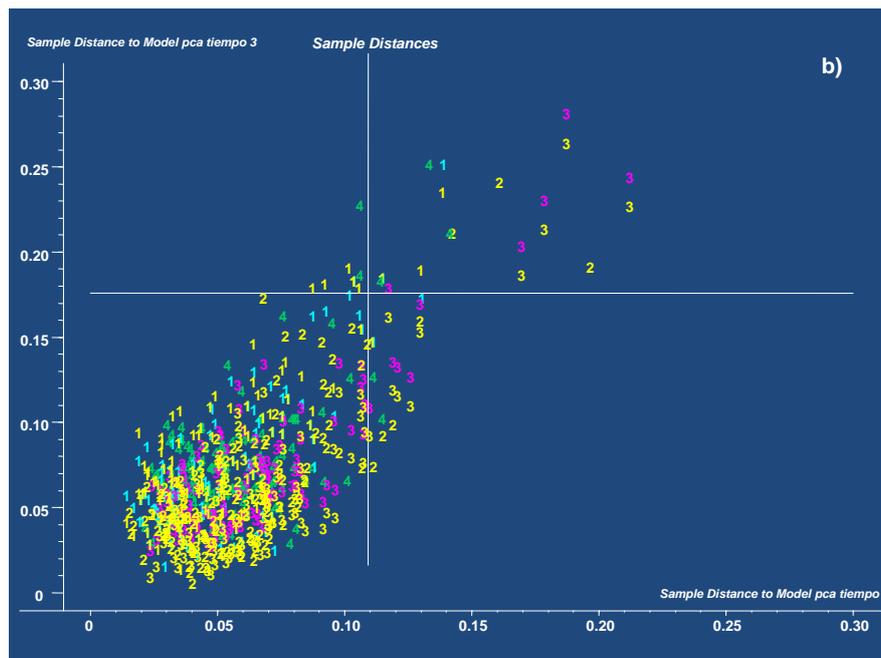
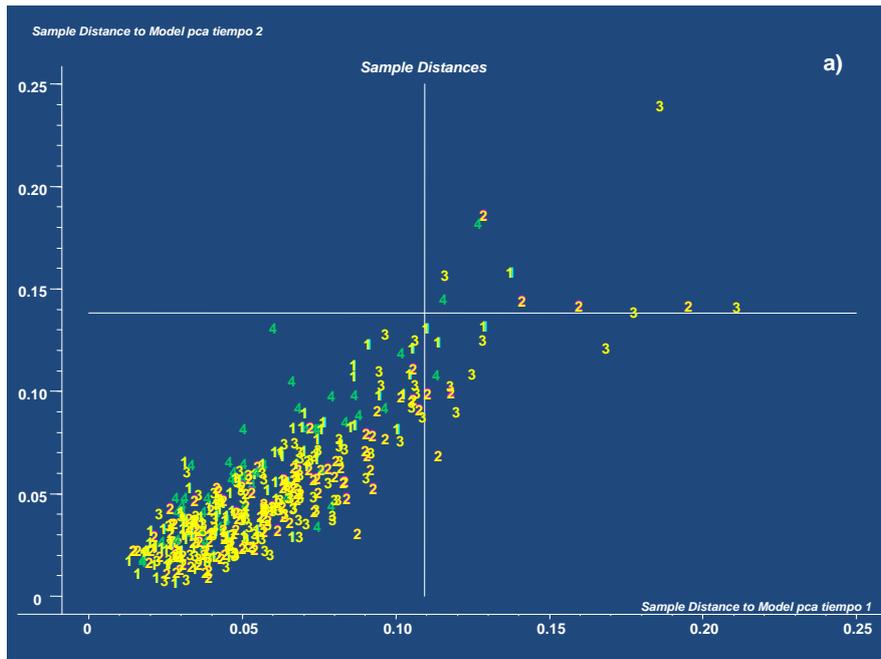


Figura IV.12.- Diagrama de Cooman para los modelos SIMCA construidos con los valores de reflectancia a longitudes de entre 360 y 740 nm para (1) chorizo “vela” no envasado, (2) chorizo “vela” envasado y refrigerado durante 180 días, (3) chorizo “vela” envasado y refrigerado durante 240 días y (4) chorizo “vela” envasado y refrigerado durante 365 días.

Respecto a los valores de sensibilidad y especificidad calculados para los modelos (tabla IV.25), un alto porcentaje de muestras fueron correctamente

clasificadas, 1, 2, 3 y 4 (91.66-96.66%). Sin embargo, la especificidad de las clasificaciones fue muy baja (4.58-11.66%).

Tabla IV.25.- Sensibilidad y especificidad de los modelos obtenidos con SIMCA de salchichón, chorizo “vela” y chorizo “sarta” a diferentes tiempos

Categoría	Sensibilidad(%) ^a	Especificidad (%) ^b
Chorizo “sarta”		
1	112/120(93.33%)	28/240(11.66%)
2	115/120(95.83%)	16/240(6.66%)
3	110/120(91.66%)	20/240(8.33%)
4	112/120(93.33%)	20/240(8.33%)
Salchichón “sarta”		
1	113/120(94.16%)	27/240(11.25%)
2	115/120(95.83%)	26/240(10.83%)
3	110/120(91.66%)	11/240(4.58%)
4	115/120(95.83%)	16/240(6.66%)
Chorizo “vela”		
1	112/120(93.33%)	20/240(8.33%)
2	116/120(96.66%)	16/240(6.66%)
3	115/120(95.83%)	19/240(7.91%)
4	115/120(95.83%)	18/240(7.50%)

^a La sensibilidad máxima en un modelo óptimo es de 100%

^b La especificidad máxima en un modelo óptimo es de 100%

También se determinó el poder de discriminación y de creación de modelos (“modelling power”) de las variables espectrales (no se muestran los datos). Ninguna variable individual (reflectancia a una determinada longitud de onda) o grupo de variables contribuyó de forma significativa y única en los modelos realizados con SIMCA.

Respecto a las distancias interclases (tabla IV.26), estas fueron menores de 3, lo que indica que los modelos SIMCA desarrollados no pueden discriminar la reflectancia de los chorizos “vela” en las distintas condiciones de envasado con un límite de confianza del 95%.

Tabla IV.26.- Distancia interclase o intercategoría para de salchichón, chorizo “vela” y chorizo “sarta” a diferentes tiempos de almacenamiento en refrigeración.

Categoría	Nº de CP^a	1^b	2	3	4
Chorizo “sarta”					
1	4	1	1.38	1.60	1.55
2	4	1.38	1	1.36	1.60
3	4	1.60	1.36	1	1.28
4	4	1.55	1.60	1.28	1
Salchichón “sarta”					
1	4	1	1.20	1.29	1.25
2	4	1.20	1	1.27	1.20
3	4	1.29	1.27	1	1.36
4	4	1.25	1.20	1.36	1
Chorizo “vela”					
1	4	1	1.38	1.60	1.28
2	4	1.38	1	1.36	1.58
3	4	1.60	1.36	1	1.45
4	4	1.28	1.58	1.45	1

^a Número de componentes principales (CP) en el modelo óptimo

^b Distancias interclase de 3 o mayor indican una buena separación entre clases.

IV.2.4.- Textura

El efecto de las diferentes atmósferas utilizadas en el envasado de chorizo “sarta”, salchichón “sarta” y chorizo “vela” durante su almacenamiento a lo largo de 12 meses en los test de fuerza de corte o Warner-Bratzler y Análisis de Perfil de Textura (Texture Profile Analysis, TPA) (deformación al 30% y 70%) se muestran en las tablas IV.27 a IV.35.

En el presente estudio, los valores de fuerza al corte y área obtenidos mediante el test Warner-Bratzler en general aumentaron durante el almacenamiento de la mayoría de los lotes de envasado en el chorizo “sarta” y “vela”. En el caso del salchichón “sarta”, la fuerza de corte se mantuvo estable en todos los lotes a lo largo de los 12 meses de almacenamiento ($P>0.05$). Los valores de fuerza de corte

encontrados en nuestros embutidos son similares a los obtenidos por Lücke y Vogeley (2012) en embutidos de cerdo fermentados no ahumados.

En cuanto al efecto del tipo de envasado, en general este factor no afectó significativamente a la fuerza de corte, salvo excepciones puntuales en el caso del chorizo “sarta” y “vela”.

Tabla IV.27: Evolución de los parámetros de textura (W-B) (media \pm error estándar) en chorizo tipo “sarta” almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMOSFERA	Fuerza 1 (N)	Area-FD 1:2 (N mm)
inicial	Vacío	16,39 \pm 1,63	82,87 ² \pm 7,15
	70N ₂ /30CO ₂	16,39 ² \pm 1,63	82,87 ² \pm 7,15
	100% N ₂	16,39 ² \pm 1,63	82,87 ² \pm 7,15
	70Argón/30CO ₂	16,39 \pm 1,63	82,87 \pm 7,15
	P _{envasado}	-	-
6 meses	Vacío	16,67 \pm 1,89	97,81 ¹² \pm 10,04
	70N ₂ /30CO ₂	25,47 ¹ \pm 2,44	135,13 ¹ \pm 12,08
	100% N ₂	21,01 ¹ \pm 2,82	111,81 ² \pm 12,94
	70Argón/30CO ₂	24,07 \pm 3,91	119,20 \pm 18,06
	P _{envasado}	ns	ns
9 meses	Vacío	26,63 \pm 5,21	130,21 ¹ \pm 14,87
	70N ₂ /30CO ₂	23,75 ¹² \pm 2,70	135,57 ¹ \pm 13,95
	100% N ₂	16,75 ¹ \pm 2,31	102,02 ² \pm 11,56
	70Argón/30CO ₂	20,82 \pm 2,64	113,90 \pm 15,41
	P _{envasado}	ns	ns
12 meses	Vacío	18,11b \pm 2,06	105,28b ¹² \pm 10,61
	70N ₂ /30CO ₂	22,39ab ¹² \pm 1,92	126,95ab ¹ \pm 9,89
	100% N ₂	31,41a ² \pm 3,96	180,77a ¹ \pm 21,82
	70Argón/30CO ₂	26,32ab \pm 4,50	145,89ab \pm 24,84
	P _{envasado}	*	*

Niveles de significación: ns=>0.05: * = p<0.05: ** = p<0.01: *** = p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.28: Evolución de los parámetros de textura (W-B) (media \pm error estándar) en salchichón tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMOSFERA	Fuerza 1 (N)	Area-FD 1:2 (N mm)
inicial	Vacío	33,55 \pm 8,63	145,03 \pm 20,93
	70N ₂ /30CO ₂	33,55 \pm 8,63	145,03 \pm 20,93
	100% N ₂	33,55 \pm 8,63	145,03 \pm 20,93
	70Argón/30CO ₂	33,55 \pm 8,63	145,03 ¹ \pm 20,93
	P _{envasado}	-	-
6 meses	Vacío	20,17 \pm 1,40	102,29 \pm 8,31
	70N ₂ /30CO ₂	23,65 \pm 1,77	126,22 \pm 8,99
	100% N ₂	21,44 \pm 1,68	104,80 \pm 10,60
	70Argón/30CO ₂	20,77 \pm 1,25	93,83 ² \pm 7,47
	P _{envasado}	ns	ns
9 meses	Vacío	23,41 \pm 1,61	113,86 \pm 10,42
	70N ₂ /30CO ₂	22,87 \pm 1,42	109,44 \pm 8,46
	100% N ₂	24,42 \pm 1,42	124,90 \pm 10,90
	70Argón/30CO ₂	25,46 \pm 1,60	136,47 ¹² \pm 10,54
	P _{envasado}	ns	ns
12 meses	Vacío	24,64 \pm 2,33	129,85 \pm 12,22
	70N ₂ /30CO ₂	28,64 \pm 2,91	151,19 \pm 11,33
	100% N ₂	31,53 \pm 2,13	158,70 \pm 13,31
	70Argón/30CO ₂	29,57 \pm 1,41	157,81 ¹ \pm 9,60
	P _{envasado}	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, $p<0.05$, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.29: Evolución de los parámetros de textura (W-B) (media \pm error estándar) en chorizo vela almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMOSFERA	Fuerza 1 (N)	Area-FD 1:2 (N mm)
inicial	Vacío	22,58 ² \pm 1,72	111,24 ³ \pm 8,42
	70N ₂ /30CO ₂	22,58 \pm 1,72	111,24 \pm 8,42
	100% N ₂	22,58 ² \pm 1,72	111,24 ² \pm 8,42
	70Argón/30CO ₂	22,58 \pm 1,72	111,24 ² \pm 8,42
	P _{envasado}	-	-
6 meses	Vacío	22,61b ² \pm 1,38	148,56b ²³ \pm 10,43
	70N ₂ /30CO ₂	24,79ab \pm 1,48	158,08ab \pm 9,75
	100% N ₂	30,89a ¹² \pm 2,77	200,51a ¹ \pm 18,00
	70Argón/30CO ₂	27,21ab \pm 2,04	179,00ab ¹ \pm 12,71
	P _{envasado}	*	*
9 meses	Vacío	32,64a ¹ \pm 1,85	196,56a ¹² \pm 11,81
	70N ₂ /30CO ₂	31,03ab \pm 1,79	179,37ab \pm 9,73
	100% N ₂	24,30c ² \pm 1,52	149,72b ² \pm 8,68
	70Argón/30CO ₂	25,75bc \pm 1,93	161,97ab ¹ \pm 11,94
	P _{envasado}	**	*
12 meses	Vacío	35,50 ¹ \pm 3,54	211,37a ¹ \pm 20,38
	70N ₂ /30CO ₂	37,93 \pm 7,35	217,15 ^a \pm 22,00
	100% N ₂	34,23 ¹ \pm 3,10	141,64b ² \pm 9,59
	70Argón/30CO ₂	28,31 \pm 1,97	140,83b ¹² \pm 12,64
	P _{envasado}	ns	***

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, $p<0.05$, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

La evolución de las variables estudiadas mediante el análisis del perfil de textura (TPA) (nivel de compresión 30% y 70%) durante el almacenamiento de los embutidos se muestra en las tablas IV.30 a IV.35. Como se puede observar, en general la mayoría de las variables estudiadas presentaron cambios a lo largo del almacenamiento en los tres tipos de embutidos.

Tabla IV.30: Evolución de los parámetros de textura (TPA) (media \pm error estándar) con un nivel de compresión del 30%, en chorizo tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

NIVEL DE COMPRESIÓN 30%							
TIEMPO	ATMOSFERA	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD (N)	ELASTICIDAD (mm)	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD (N*mm)
0	Vacío	5,34 ² \pm 1,74	0,57 ² \pm 0,02	4,82 \pm 1,10	0,67 \pm 0,04	0,19 \pm 0,01	3,36 \pm 0,85
	70%N ₂ /30%CO ₂	5,34 ¹² \pm 1,74	0,57 ² \pm 0,02	4,82 \pm 1,10	0,67 \pm 0,04	0,19 ² \pm 0,01	3,36 \pm 0,85
	100% N ₂	5,34 \pm 1,74	0,57 ² \pm 0,02	4,82 \pm 1,10	0,67 \pm 0,04	0,19 ² \pm 0,01	3,36 \pm 0,85
	70%Argón/30%CO ₂	5,34 ¹² \pm 1,74	0,57 ² \pm 0,02	4,82 ¹² \pm 1,10	0,67 ³ \pm 0,04	0,19 ³ \pm 0,01	3,36 ² \pm 0,85
	P _{envasado}	-	-	-	-	-	-
6 meses	Vacío	5,71b ² \pm 0,94	0,57c ¹² \pm 0,02	3,03b \pm 0,70	0,85 \pm 0,13	0,21 \pm 0,01	2,26b \pm 0,55
	70%N ₂ /30%CO ₂	9,90a ¹ \pm 1,03	0,62bc ¹² \pm 0,01	3,99b \pm 0,74	0,79 \pm 0,03	0,21 ¹² \pm 0,01	3,34ab \pm 0,64
	100% N ₂	8,07ab \pm 1,07	0,67a ¹² \pm 0,01	5,10ab \pm 0,74	0,92 \pm 0,09	0,22 ² \pm 0,00	5,04a \pm 1,05
	70%Argón/30%CO ₂	9,27ab ¹ \pm 0,94	0,66ab ¹ \pm 0,01	6,91a ¹ \pm 0,72	0,83 ¹ \pm 0,02	0,22 ¹² \pm 0,00	6,00a ¹ \pm 0,68
	P _{envasado}	*	***	**	ns	ns	**
9 meses	Vacío	4,89 ² \pm 0,62	0,62b ¹² \pm 0,01	4,04 \pm 0,52	0,88 \pm 0,14	0,218ab \pm 0,01	4,09 \pm 0,96
	70%N ₂ /30%CO ₂	8,40 ¹² \pm 1,12	0,61b ¹² \pm 0,01	3,78 \pm 0,72	0,74 \pm 0,01	0,196c ² \pm 0,00	2,98 \pm 0,58
	100% N ₂	4,84 \pm 0,72	0,62b ¹² \pm 0,01	3,19 \pm 0,43	0,79 \pm 0,02	0,208bc ¹² \pm 0,00	2,64 \pm 0,39
	70%Argón/30%CO ₂	5,76 ¹² \pm 1,08	0,67a ¹ \pm 0,01	5,44 ¹² \pm 0,92	0,78 ¹² \pm 0,02	0,233a ¹ \pm 0,01	4,26 ¹² \pm 0,74
	P _{envasado}	ns	**	ns	ns	***	ns
12 meses	Vacío	11,65a ¹ \pm 1,05	0,63 ¹ \pm 0,01	5,70 \pm 0,95	0,82 \pm 0,02	0,22 \pm 0,00	4,72 \pm 0,80
	70%N ₂ /30%CO ₂	4,57b ² \pm 1,26	0,66 ¹ \pm 0,02	4,53 \pm 0,56	0,93 \pm 0,13	0,22 ² \pm 0,00	3,69 \pm 0,45
	100% N ₂	4,61b \pm 0,86	0,69 ¹ \pm 0,04	2,93 \pm 0,54	1,11 \pm 0,25	0,23 ¹ \pm 0,00	2,66 \pm 0,51
	70%Argón/30%CO ₂	4,15b ² \pm 0,76	0,61 ² \pm 0,01	3,73 ² \pm 0,50	0,71 ²³ \pm 0,02	0,21 ²³ \pm 0,01	2,70 ² \pm 0,38
	P _{envasado}	***	ns	ns	ns	ns	*

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, $p<0.05$, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.31: Evolución de los parámetros de textura (TPA) (media \pm error estándar) con un nivel de compresión del 70%, en chorizo tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

NIVEL DE COMPRESIÓN 70%							
TIEMPO	ATMOSFERA	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD (N)	ELASTICIDAD (mm)	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD (N*mm)
0	Vacío	10,30 ² \pm 3,03	0,30 \pm 0,02	9,10 \pm 0,94	0,60 ² \pm 0,03	0,10 ¹² \pm 0,01	5,64 \pm 0,66
	70%N ₂ /30%CO ₂	10,30 \pm 3,03	0,30 \pm 0,02	9,10 \pm 0,94	0,60 ² \pm 0,03	0,10 ¹² \pm 0,01	5,64 \pm 0,66
	100% N ₂	10,30 ² \pm 3,03	0,30 \pm 0,02	9,10 ¹ \pm 0,94	0,60 ² \pm 0,03	0,10 ¹² \pm 0,01	5,64 ¹² \pm 0,66
	70%Argón/30%CO ₂	10,30 ¹² \pm 3,03	0,30 \pm 0,02	9,10 \pm 0,94	0,60 \pm 0,03	0,10 \pm 0,01	5,64 \pm 0,66
	P _{envasado}	-	-	-	-	-	-
6 meses	Vacío	23,77 ¹ \pm 2,81	0,30 \pm 0,01	6,33 \pm 1,04	0,71 ¹ \pm 0,02	0,12 ¹ \pm 0,01	4,46 \pm 0,68
	70%N ₂ /30%CO ₂	20,57 \pm 3,40	0,31 \pm 0,01	7,59 \pm 1,47	0,76 ¹ \pm 0,03	0,12 ¹ \pm 0,01	5,61 \pm 1,14
	100% N ₂	23,97 ¹ \pm 2,82	0,32 \pm 0,01	9,26 ¹ \pm 1,23	0,76 ² \pm 0,04	0,12 ¹ \pm 0,01	6,96 ¹ \pm 1,00
	70%Argón/30%CO ₂	19,99 ¹ \pm 3,63	0,31 \pm 0,01	7,57 \pm 1,49	0,72 \pm 0,02	0,12 \pm 0,01	5,84 \pm 1,37
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacío	17,20 ¹² \pm 2,82	0,26 \pm 0,011	5,15 \pm 1,01	0,65 ¹² \pm 0,03	0,09 ² \pm 0,01	3,47 \pm 0,68
	70%N ₂ /30%CO ₂	11,06 \pm 2,97	0,27 \pm 0,010	4,37 \pm 0,94	0,66 ² \pm 0,02	0,08 ² \pm 0,00	2,99 \pm 0,64
	100% N ₂	11,55 ² \pm 2,10	0,28 \pm 0,010	3,60 ² \pm 0,74	0,71 ¹² \pm 0,02	0,09 ² \pm 0,00	2,68 ² \pm 0,58
	70%Argón/30%CO ₂	11,96 ¹² \pm 2,39	0,29 \pm 0,013	6,33 \pm 1,12	0,73 \pm 0,06	0,09 \pm 0,01	4,26 \pm 0,81
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacío	17,72a ¹² \pm 1,86	0,27 \pm 0,01	6,17 \pm 0,61	0,68 ¹² \pm 0,03	0,08 ² \pm 0,00	4,28 \pm 0,48
	70%N ₂ /30%CO ₂	14,37ab \pm 3,10	0,31 \pm 0,01	6,57 \pm 0,90	0,66 ² \pm 0,02	0,09 ² \pm 0,00	4,66 \pm 0,66
	100% N ₂	14,43ab ¹² \pm 2,50	0,30 \pm 0,01	5,64 ¹² \pm 0,94	0,66 ¹² \pm 0,02	0,09 ² \pm 0,00	3,99 ¹² \pm 0,75
	70%Argón/30%CO ₂	7,77b ² \pm 1,85	0,28 \pm 0,01	4,45 \pm 0,85	0,71 \pm 0,04	0,09 \pm 0,01	3,23 \pm 0,63
	P _{envasado}	*	*	ns	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.32: Evolución de los parámetros de textura (TPA) (media \pm error estándar) con un nivel de compresión del 30%, en salchichón tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

NIVEL DE COMPRESIÓN 30%							
TIEMPO	ATMOSFERA	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD (N)	ELASTICIDAD(mm)	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD (N*mm)
Inicial	Vacio	0,12 ² \pm 0,00	0,67 ² \pm 0,04	17,57 ¹ \pm 2,25	0,78 ² \pm 0,05	0,26 \pm 0,01	14,55 ¹ \pm 1,99
	70N ₂ /30CO ₂	0,12 ² \pm 0,00	0,67 ² \pm 0,04	17,57 ¹ \pm 2,25	0,78 \pm 0,05	0,26 ¹ \pm 0,01	14,55 ¹ \pm 1,99
	100% N ₂	0,12 ² \pm 0,00	0,67 ² \pm 0,04	17,57 ¹ \pm 2,25	0,78 ² \pm 0,05	0,26 ¹² \pm 0,01	14,55 ¹ \pm 1,99
	70Argón/30CO ₂	0,12 ² \pm 0,00	0,67 \pm 0,04	17,57 \pm 2,25	0,78 ² \pm 0,05	0,26 ¹ \pm 0,01	14,55 \pm 1,99
	P envasado	-	-	-	-	-	-
6 meses	Vacio	16,08 ¹ \pm 2,02	0,71 ¹² \pm 0,00	12,69 ¹² \pm 1,55	0,87 ¹ \pm 0,01	0,26b \pm 0,00	11,17 ¹² \pm 1,39
	70N ₂ /30CO ₂	13,93 ¹ \pm 1,95	0,73 ¹ \pm 0,01	12,93 ¹² \pm 1,42	1,00 \pm 0,15	0,27a ¹ \pm 0,01	12,01 ¹ \pm 1,52
	100% N ₂	16,82 ¹ \pm 2,35	0,73 ¹ \pm 0,01	16,75 ¹² \pm 1,63	0,87 ¹ \pm 0,01	0,27a ¹ \pm 0,00	14,67 ¹ \pm 1,49
	70Argón/30CO ₂	18,54 ¹ \pm 2,44	0,72 \pm 0,01	17,61 \pm 1,52	0,86 ¹ \pm 0,01	0,27ab ¹ \pm 0,00	15,31 \pm 1,36
	P envasado	ns	ns	*	ns	*	ns
9 meses	Vacio	15,12 ¹ \pm 1,79	0,72 ¹ \pm 0,01	8,39 ² \pm 1,60	0,79 ² \pm 0,01	0,25 \pm 0,01	6,81 ² \pm 1,34
	70N ₂ /30CO ₂	13,48 ¹ \pm 2,08	0,71 ¹² \pm 0,01	7,67 ² \pm 1,58	0,79 \pm 0,01	0,25 ¹² \pm 0,00	5,96 ² \pm 1,26
	100% N ₂	14,29 ¹ \pm 2,38	0,72 ¹² \pm 0,00	10,07 ²³ \pm 1,57	0,78 ² \pm 0,02	0,26 ¹² \pm 0,00	7,88 ² \pm 1,27
	70Argón/30CO ₂	15,72 ¹ \pm 2,73	0,72 \pm 0,00	11,57 \pm 1,97	0,80 ² \pm 0,01	0,26 ¹² \pm 0,00	9,44 \pm 1,67
	P envasado	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacio	12,32b ¹ \pm 1,90	0,73a ¹ \pm 0,006	8,44 ² \pm 1,20	0,84a ¹² \pm 0,01	0,26a \pm 0,00	7,07 ² \pm 1,01
	70N ₂ /30CO ₂	15,51ab ¹ \pm 2,48	0,70b ¹² \pm 0,006	11,33 ¹² \pm 1,74	0,81ab \pm 0,01	0,24b ² \pm 0,00	9,23 ¹² \pm 1,45
	100% N ₂	21,29a ¹ \pm 2,02	0,70b ¹² \pm 0,007	8,33 ³ \pm 1,47	0,80b ² \pm 0,01	0,24b ² \pm 0,00	6,64 ² \pm 1,19
	70Argón/30CO ₂	18,56ab ¹ \pm 2,03	0,70b \pm 0,005	12,86 \pm 1,57	0,80ab ² \pm 0,01	0,24b ² \pm 0,00	10,34 \pm 1,30
	P envasado	*	**	ns	*	**	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.33: Evolución de los parámetros de textura (TPA) (media \pm error estándar) con un nivel de compresión del 70%, en salchichón tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

NIVEL DE COMPRESIÓN 70%							
TIEMPO	ATMOSFERA	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD (N)	ELASTICIDAD (mm)	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD (N*mm)
Inicial	Vacio	5,81 ² \pm 4,04	0,32 \pm 0,02	14,14 \pm 3,67	0,92 ¹ \pm 0,11	0,12 ¹ \pm 0,01	11,50 \pm 2,96
	70N ₂ /30CO ₂	5,81 ² \pm 4,04	0,32 \pm 0,02	14,14 \pm 3,67	0,92 ¹ \pm 0,11	0,12 ¹ \pm 0,01	11,50 ¹ \pm 2,96
	100% N ₂	5,81 ² \pm 4,04	0,32 \pm 0,02	14,14 ¹² \pm 3,67	0,92 ¹ \pm 0,11	0,12 ¹² \pm 0,01	11,50 ¹² \pm 2,96
	70Argón/30CO ₂	5,81 ² \pm 4,04	0,32 \pm 0,02	14,14 ¹ \pm 3,67	0,92 \pm 0,11	0,12 ¹ \pm 0,01	11,50 ¹² \pm 2,96
	P envasado	-	-	-	-	-	-
6 meses	Vacio	27,09 ¹ \pm 4,25	0,31b \pm 0,01	9,37 \pm 1,43	0,76 ² \pm 0,02	0,099b ² \pm 0,00	7,05b \pm 1,08
	70N ₂ /30CO ₂	36,22 ¹ \pm 4,88	0,32ab \pm 0,01	12,97 \pm 1,99	0,77 ² \pm 0,02	0,11ab ¹² \pm 0,00	10,21ab ¹² \pm 1,60
	100% N ₂	35,88 ¹ \pm 6,31	0,34a \pm 0,01	16,17 ¹ \pm 2,65	0,85 ¹² \pm 0,05	0,12a ¹ \pm 0,01	14,32a ¹ \pm 2,54
	70Argón/30CO ₂	28,76 ¹ \pm 5,06	0,33ab \pm 0,01	15,07 ¹ \pm 2,29	0,78 \pm 0,02	0,12a ¹ \pm 0,01	12,29ab ¹ \pm 1,93
	P envasado	ns	*	ns	ns	**	*
9 meses	Vacio	21,36 ¹² \pm 4,77	0,34 \pm 0,01	8,55 \pm 1,98	0,74 ² \pm 0,02	0,10 ¹² \pm 0,00	6,69 \pm 1,60
	70N ₂ /30CO ₂	14,82 ² \pm 4,10	0,33 \pm 0,01	6,95 \pm 1,69	0,70 ² \pm 0,02	0,10 ¹² \pm 0,00	4,96 ² \pm 1,24
	100% N ₂	19,01 ¹² \pm 4,46	0,34 \pm 0,01	8,89 ¹² \pm 1,94	0,73 ² \pm 0,02	0,10 ²³ \pm 0,00	6,85 ¹² \pm 1,56
	70Argón/30CO ₂	12,32 ¹² \pm 3,77	0,33 \pm 0,01	5,80 ² \pm 1,50	0,73 \pm 0,02	0,10 ² \pm 0,00	4,37 ² \pm 1,16
	P envasado	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacio	20,30a ¹² \pm 3,76	0,33 \pm 0,01	10,29 \pm 1,33	0,74 ² \pm 0,02	0,09 ² \pm 0,00	7,80 \pm 1,01
	70N ₂ /30CO ₂	13,93ab ² \pm 4,04	0,33 \pm 0,01	10,72 \pm 1,69	0,71 ² \pm 0,01	0,09 ² \pm 0,00	7,41 ¹² \pm 1,17
	100% N ₂	6,63b ² \pm 2,95	0,31 \pm 0,01	6,55 ² \pm 1,50	0,73 ² \pm 0,02	0,09 ²³ \pm 0,00	4,97 ² \pm 1,27
	70Argón/30CO ₂	19,15ab ¹² \pm 3,46	0,32 \pm 0,01	9,37 ¹² \pm 1,39	0,79 \pm 0,07	0,09 ² \pm 0,00	8,26 ¹² \pm 1,79
	P envasado	*	ns	ns	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, $p<0.05$, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.34: Evolución de los parámetros de textura (TPA) (media \pm error estándar) con un nivel de compresión del 30%, en chorizo tipo "vela" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

NIVEL DE COMPRESIÓN 30%							
TIEMPO	ATMOSFERA	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD (N)	ELASTICIDAD (mm)	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD (N*mm)
Inicial	Vacio	3,57 ² \pm 1,91	0,69 ¹² \pm 0,01	13,62 ¹ \pm 2,48	0,83 \pm 0,02	0,24 ¹ \pm 0,01	11,32 ¹ \pm 2,17
	70N ₂ /30CO ₂	3,57 ³ \pm 1,91	0,69 ¹ \pm 0,01	13,62 ¹ \pm 2,48	0,83 \pm 0,02	0,24 ¹ \pm 0,01	11,32 ¹ \pm 2,17
	100% N ₂	3,57 ³ \pm 1,91	0,69 \pm 0,01	13,62 ¹ \pm 2,48	0,83 \pm 0,02	0,24 ¹ \pm 0,01	11,32 ¹ \pm 2,17
	70Argón/30CO ₂	3,57 ² \pm 1,91	0,69 \pm 0,01	13,62 ¹ \pm 2,48	0,83 \pm 0,02	0,24 ¹ \pm 0,01	11,32 ¹ \pm 2,17
	P envasado	-	-	-	-	-	-
6 meses	Vacio	15,70a ¹ \pm 1,49	0,68 ² \pm 0,00	10,59 ¹² \pm 1,14	0,82 \pm 0,01	0,22 ² \pm 0,00	8,84 ¹² \pm 1,01
	70N ₂ /30CO ₂	10,12ab ²³ \pm 1,78	0,68 ¹² \pm 0,01	9,53 ¹² \pm 1,22	0,82 \pm 0,01	0,22 ² \pm 0,00	7,82 ¹² \pm 1,04
	100% N ₂	12,93ab ² \pm 1,76	0,67 \pm 0,01	7,45 ² \pm 1,15	0,79 \pm 0,01	0,22 ² \pm 0,00	5,93 ² \pm 0,91
	70Argón/30CO ₂	9,28b ² \pm 1,69	0,67 \pm 0,01	7,88 ² \pm 1,15	0,82 \pm 0,01	0,22 ² \pm 0,00	6,50 ² \pm 0,96
	P envasado	*	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacio	15,07 ¹ \pm 2,12	0,67 ² \pm 0,01	7,42 ²³ \pm 1,21	0,83 \pm 0,01	0,23 ¹ \pm 0,01	6,21 ²³ \pm 1,03
	70N ₂ /30CO ₂	18,35 ¹ \pm 1,83	0,66 ² \pm 0,01	8,54 ¹² \pm 1,41	0,84 \pm 0,01	0,23 ¹² \pm 0,01	7,42 ¹² \pm 1,27
	100% N ₂	19,59 ¹ \pm 1,77	0,66 \pm 0,01	7,79 ² \pm 1,39	0,90 \pm 0,13	0,23 ¹² \pm 0,00	6,26 ² \pm 1,13
	70Argón/30CO ₂	16,81 ¹ \pm 2,16	0,67 \pm 0,01	8,43 ¹² \pm 1,65	0,80 \pm 0,02	0,23 ² \pm 0,01	6,69 ² \pm 1,33
	P envasado	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacio	12,13a ¹ \pm 1,49	0,71a ¹ \pm 0,006	4,71 ³ \pm 0,98	0,87a \pm 0,03	0,24a ¹ \pm 0,00	4,00 ³ \pm 0,84
	70N ₂ /30CO ₂	13,91a ² \pm 1,63	0,68b ¹² \pm 0,006	5,14 ² \pm 1,29	0,81ab \pm 0,02	0,24ab ¹ \pm 0,00	4,32 ² \pm 1,13
	100% N ₂	9,27ab ²³ \pm 1,35	0,68b \pm 0,005	6,70 ² \pm 1,03	0,83ab \pm 0,01	0,23b ² \pm 0,00	5,62 ² \pm 0,87
	70Argón/30CO ₂	7,45b ² \pm 1,32	0,70ab \pm 0,005	6,62 ² \pm 0,91	0,80b \pm 0,02	0,24a ¹ \pm 0,00	5,30 ² \pm 0,75
	P envasado	**	***	ns	*	**	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.35: Evolución de los parámetros de textura (TPA) (media \pm error estándar) con un nivel de compresión del 70%, en chorizo tipo "vela" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

NIVEL DE COMPRESIÓN 70%							
TIEMPO	ATMOSFERA	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD (N)	ELASTICIDAD (mm)	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD (N*mm)
Inicial	Vacio	6,22 ² \pm 3,34	0,35 ² \pm 0,02	17,95 ¹ \pm 2,29	0,80 \pm 0,02	0,13 ² \pm 0,01	14,67 ¹ \pm 2,16
	70N ₂ /30CO ₂	6,22 ² \pm 3,34	0,35 ² \pm 0,02	17,95 ¹ \pm 2,29	0,80 \pm 0,02	0,13 ² \pm 0,01	14,67 ¹ \pm 2,16
	100% N ₂	6,22 ² \pm 3,34	0,35 ² \pm 0,02	17,95 ¹ \pm 2,29	0,80 \pm 0,02	0,13 ² \pm 0,01	14,67 ¹ \pm 2,16
	70Argón/30CO ₂	6,22 ² \pm 3,34	0,35 ² \pm 0,02	17,95 ¹ \pm 2,29	0,80 \pm 0,02	0,13 ² \pm 0,01	14,67 ¹ \pm 2,16
	P envasado	-	-	-	-	-	-
6 meses	Vacio	19,66 ¹ \pm 3,47	0,32 ² \pm 0,02	7,28 ² \pm 1,52	0,77 \pm 0,02	0,09 ³ \pm 0,01	5,92 ² \pm 1,34
	70N ₂ /30CO ₂	13,51 ¹² \pm 3,14	0,30 ³ \pm 0,01	6,45 ² \pm 1,12	0,74 \pm 0,01	0,09 ³ \pm 0,00	4,88 ² \pm 0,87
	100% N ₂	13,92 ¹² \pm 3,33	0,29 ³ \pm 0,01	5,90 ² \pm 1,09	0,80 \pm 0,04	0,09 ³ \pm 0,00	4,72 ² \pm 0,90
	70Argón/30CO ₂	24,65 ¹ \pm 4,05	0,29 ³ \pm 0,01	6,43 ² \pm 1,56	0,80 \pm 0,07	0,09 ³ \pm 0,01	5,18 ² \pm 1,23
	P envasado	ns	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacio	22,00a ¹ \pm 1,58	0,66 ¹ \pm 0,01	5,05 ² \pm 1,20	0,79 \pm 0,02	0,22 ¹ \pm 0,00	4,05 ² \pm 0,97
	70N ₂ /30CO ₂	19,61ab ¹ \pm 1,59	0,66 ¹ \pm 0,01	6,55 ² \pm 1,39	0,81 \pm 0,01	0,22 ¹ \pm 0,00	5,70 ² \pm 1,22
	100% N ₂	18,61ab ¹ \pm 1,96	0,66 ¹ \pm 0,01	6,64 ² \pm 1,39	0,80 \pm 0,02	0,23 ¹ \pm 0,00	5,47 ² \pm 1,16
	70Argón/30CO ₂	14,55b ¹² \pm 1,89	0,66 ¹ \pm 0,01	5,02 ² \pm 1,23	0,83 \pm 0,05	0,23 ¹ \pm 0,00	4,85 ² \pm 1,50
	P envasado	*	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacio	21,61 ¹ \pm 3,91	0,30b ² \pm 0,01	9,49 ² \pm 1,80	0,77 \pm 0,02	0,10 ³ \pm 0,01	7,57 ² \pm 1,44
	70N ₂ /30CO ₂	16,78 ¹² \pm 3,84	0,30b ³ \pm 0,01	11,43 ² \pm 2,05	0,90 \pm 0,09	0,09 ³ \pm 0,01	11,90 ¹² \pm 3,04
	100% N ₂	21,71 ¹ \pm 2,91	0,31ab ²³ \pm 0,01	8,09 ² \pm 1,31	0,87 \pm 0,06	0,09 ³ \pm 0,00	8,12 ² \pm 1,89
	70Argón/30CO ₂	21,03 ¹² \pm 4,60	0,35a ² \pm 0,01	9,18 ² \pm 1,63	0,78 \pm 0,02	0,10 ³ \pm 0,01	7,15 ² \pm 1,22
	P envasado	ns	**	ns	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Los valores de dureza obtenidos en el presente estudio en los tres tipos de embutidos, fueron en general más bajos que los descritos por otros autores como Gimeno y col., (2001) y Muguerza y col. (2001), que obtuvieron valores de dureza de 32,25 y 38,69 N respectivamente en chorizo de Pamplona, o Rubio y col. (2007b) que encontraron valores de 60,29 N en salchichón, pero estas diferencias están relacionadas con la composición, el tamaño de partícula y, principalmente, el contenido de graso de los diferentes tipos de embutidos (Salazar y col., 2009).

Respecto a la dureza, este parámetro aumentó de forma general durante el periodo de almacenamiento en todos los productos estudiados y de forma significativa ($P < 0.05$) tanto con un nivel de compresión del 30 % como 70% (tablas IV.30 a IV.35). El aumento de la dureza durante el almacenamiento de los embutidos podría ser debido a que continúa disminuyendo la humedad en ellos a lo largo de los 12 meses de almacenamiento (García Esteban y col., 2004). Según González-Fernández y col. (2006), otro motivo del aumento de la dureza de los embutidos podría ser la disminución del pH de los mismos hacía un valor cercano al punto isoeléctrico de las proteínas, lo cual causaría una disminución de la solubilidad de éstas. Esta disminución del pH podría continuar dándose durante el almacenamiento, ya que Wojciak y col. (2012) observaron un incremento de la dureza de embutidos al final del periodo de almacenamiento, que pudo relacionarse con la caída del pH observada en las muestras. De hecho, según Benito y col. (2005), la desnaturalización de las proteínas que se puede producir debido al secado y acidificación de los embutidos durante la etapa de maduración, podría tener un efecto negativo sobre la textura de los embutidos fermentados ya que conduciría a un aumento excesivo en la dureza y consistencia, especialmente en aquellos sometidos a un proceso de larga maduración. Al igual que nosotros, Rubio y col. (2007a) también observaron un aumento de la dureza durante el almacenamiento de Cecina de León envasada al vacío, lo cual coincide también con los resultados obtenidos por García-Esteban y col. (2004) en jamón curado envasado al vacío, en 100% N_2 o en mezcla de 20% CO_2 /80% N_2 . En el presente trabajo, el aumento de la dureza en los tres productos a lo largo del almacenamiento coincide con los resultados obtenidos en el análisis de la oxidación proteica, ya que se observó una disminución de los grupos sulfhidrilos, y por tanto, un aumento de las reacciones de oxidación en los tres tipos de embutidos. De hecho, se observó una correlación negativa entre la dureza, a niveles de compresión de 30% y 70%, y los nmol tiol/mg proteína, en chorizo y salchichón tipo "sarta" ($R = -0,180$, $R = -$

0,185; $P < 0,05$ y $R = -0,104$, $R = -0,110$; $P < 0,05$, respectivamente). Lo mismo ocurre con la dureza percibida sensorialmente (la cual se explicará en el apartado IV.1.7).

La cohesividad aumentó en chorizo y salchichón “sarta”, pero se mantuvo estable en las muestras de chorizo “vela”. La cohesividad es un parámetro importante en el manejo de los embutidos, especialmente para el corte de estos productos, ya que los productos que son excesivamente cohesivos son pegajosos y no se puede cortar fácilmente (Nowak et al., 2007). Rubio y col. (2007b) también observaron, al igual que en el presente trabajo, un aumento de la cohesividad en salchichón envasado al vacío y en mezclas de 20%CO₂:80%N₂, del mismo modo que Kamenik y col. (2012) en salami, o García-Esteban y col. (2004) en jamón, ambos envasados al vacío. En los primeros días de la etapa de fermentación es cuando comienza a desarrollarse la textura inicial de los embutidos, y a partir de entonces, la mezcla de carne, desmenuzable y poco cohesionada, poco a poco se transforma en un producto semisólido con una mayor consistencia debido a la pérdida de solubilidad de las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares (González-Fernández y col., 2006). Durante la etapa de fermentación de los embutidos, la coagulación de las proteínas musculares debido a la disminución del pH por la acción de las bacterias ácido lácticas hace que aumente la cohesividad de los mismos (Campbell-Platt & Cook, 1995). Durante el período de maduración, se lleva a cabo el secado del embutido y se desarrolla la textura final (Hugas & Monfort, 1997). Por lo tanto, las propiedades de textura en productos cárnicos se relacionan tanto con la grasa y la sal como con los valores de pH de los mismos, así como con su contenido de proteínas y especialmente la cantidad de tejido conectivo (Gimeno y col., 2000).

Otros cambios significativos se produjeron en la gomosidad y la masticabilidad de salchichón “sarta” y del chorizo “vela”, puesto que los valores fueron menores al final del periodo de almacenamiento, lo cual pudo ser debido a una pérdida de peso de los embutidos durante el almacenamiento (Ruiz-Capillas y col., 2012) Por el contrario, Rubio y col. (2007b) encontraron un incremento en la masticabilidad de las muestras tras 210 días almacenadas en refrigeración.

En cuanto al resto de los parámetros de textura, en general se produjeron algunas variaciones tanto en salchichón como en chorizo “sarta” tras 12 meses de almacenamiento. Al contrario que nosotros, Rubio y col. (2007a) no encontraron diferencias en el resto de los parámetros de textura estudiados.

En lo que respecta a las diferencias debidas al tipo de envasado, se puede comprobar que en los tres tipos de embutidos apenas existieron diferencias significativas entre los distintos lotes de envasado para ninguna de las variables estudiadas. Al igual que nosotros, Rubio y col. (2007a; 2007b) tampoco observaron diferencias en los parámetros de textura debidas al tipo de envasado en Cecina de León o salchichón, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Cilla y col. (2006), que obtuvieron un perfil de textura muy similar en muestras de jamón envasadas tanto al vacío como con atmósferas modificadas. Como se puede apreciar en la tabla IV.30, en chorizo “sarta” destacaron las diferencias en la dureza a los 12 meses de almacenamiento con un nivel de compresión del 30%, ya que el valor de esta variable fue mucho mayor en el lote envasado al vacío que en las muestras envasadas con mezclas de gases. García-Esteban y col. (2004) también observaron en jamón envasado al vacío, valores de dureza mucho mayores que en las muestras envasadas en atmósferas modificadas.

IV.2.5.-Oxidación lipídica

Los resultados de los niveles de oxidación lipídica (mg MDA/Kg) en chorizo “sarta”, salchichón “sarta” y chorizo “vela” envasados tanto al vacío como en diferentes mezclas de gases y almacenados en refrigeración durante 12 meses, se muestran en la tabla IV.36.

La oxidación de lípidos en los productos cárnicos curados contribuye a sus propiedades aromáticas ya que algunos compuestos volátiles responsables de su aroma provienen de la oxidación de ácidos grasos insaturados (Ordóñez y col., 1999; Carrapiso y col., 2002). Sin embargo, la oxidación lipídica también compromete seriamente la calidad y la vida útil de estos productos, ya que promueve problemas de enranciamiento, que se considera desagradable para los consumidores (Jeremiah, 2001), y puede dañar otras propiedades organolépticas, ya que la grasa contribuye al sabor, la textura, la jugosidad y la sensación general de lubricidad del producto (Navarro y col., 1997; Muguerza y col., 2002). Además, la oxidación también puede afectar el valor nutricional del producto por la oxidación de vitaminas, ácidos grasos esenciales insaturados o incluso puede dar lugar a compuestos tóxicos (Ansorena & Astiasarán, 2004). Los resultados obtenidos en el presente trabajo mostraron una disminución del contenido de malonaldehído para todos los lotes de envasado ($P < 0,05$) en los tres tipos de embutidos a lo largo del almacenamiento, especialmente

después de los 6 primeros meses de almacenamiento. Resultados similares fueron encontrados por Rubio y col. (2008), que observaron una disminución de los valores de TBA en salchichón envasado al vacío y en atmósferas modificadas tras 210 días de almacenamiento. Por el contrario, otros estudios han reportado un aumento de la oxidación lipídica durante el almacenamiento, tal y como demuestran los resultados obtenidos por Parra y col. (2010, 2012) en jamón, Zanardi y col. (2002), Summo y col. (2006) en embutidos o Gök y col. (2008) en pastirma. Otros resultados encontrados por otros autores mostraron que los valores de TBARs se mantuvieron estables durante el almacenamiento de embutidos envasados tanto al vacío como en atmósferas que contenían mezclas de N₂ y CO₂ (Harms y col., 2003; Valencia y col., 2006; Summo y col., 2010a).

Tabla IV.36: Evolución de la oxidación lipídica (mg MDA/kg) (media ± error estándar), en chorizo tipo "sarta", salchichón tipo "sarta" y chorizo tipo "vela" almacenados durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMÓSFERA	Chorizo sarta (mg MDA/ kg)	Salchichón sarta (mg MDA/ kg)	Chorizo vela (mg MDA/ kg)
0	Vacío	2,06 ¹ ±0,06	1,17 ¹ ±0,04	2,13 ¹ ±0,20
	70%N ₂ /30%CO ₂	2,06 ¹ ±0,06	1,17 ¹ ±0,04	2,13 ¹ ±0,20
	100% N ₂	2,06 ¹ ±0,06	1,17 ¹ ±0,04	2,13 ¹ ±0,20
	70%Argón/30%CO ₂	2,06 ¹ ±0,06	1,17 ¹ ±0,04	2,13 ¹ ±0,20
	P _{envasado}	ns	ns	ns
6 meses	Vacío	2,16a ¹ ±0,11	0,50 ² ±0,07	1,32a ² ±0,05
	70%N ₂ /30%CO ₂	1,11b ² ±0,09	0,55 ² ±0,12	1,09ab ² ±0,06
	100% N ₂	2,09a ¹ ±0,11	0,55 ² ±0,03	0,92b ² ±0,10
	70%Argón/30%CO ₂	1,87a ¹ ±0,07	0,72 ² ±0,03	1,13ab ² ±0,07
	P _{envasado}	***	ns	*
9 meses	Vacío	1,53 ² ±0,15	0,61 ² ±0,06	0,87 ² ±0,11
	70%N ₂ /30%CO ₂	1,49 ² ±0,16	0,37 ² ±0,10	0,93 ² ±0,10
	100% N ₂	1,30 ² ±0,09	0,53 ² ±0,11	0,92 ² ±0,08
	70%Argón/30%CO ₂	1,11 ² ±0,06	0,63 ² ±0,05	0,91 ² ±0,06
	P _{envasado}	ns	ns	ns
12 meses	Vacío	1,08 ³ ±0,08	0,64 ² ±0,06	0,82 ² ±0,16
	70%N ₂ /30%CO ₂	1,27 ² ±0,11	0,62 ² ±0,10	1,09 ² ±0,04
	100% N ₂	1,11 ² ±0,09	0,43 ² ±0,07	0,98 ² ±0,08
	70%Argón/30%CO ₂	1,16 ² ±0,06	0,69 ² ±0,04	0,74 ² ±0,14
	P _{envasado}	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05: *=*p*<0.05: **=*p*<0.01: ***=*p*<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, *p*<0.05, test de Tukey.

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

El hecho de la disminución del contenido en malondialdehído durante el almacenamiento de los productos estudiados, podría tener que ver con la reacción del malondialdehído con aminoácidos, azúcares y nitritos utilizados en la elaboración de los mismos (Janero, 1990.), ya que el malondialdehído no es un compuesto estable, sino que es altamente reactivo y se une con otros componentes del alimento. De hecho, durante el proceso de secado del jamón ibérico, autores como Andrés y col. (2004b) observaron un aumento de los valores de TBARS durante las primeras etapas del procesamiento y una disminución en las etapas finales. Una posible explicación a la disminución de malondialdehído observada en este estudio, puede ser el hecho de que la presencia de nitrito residual en las muestras de productos curados podría conducir a la nitrosación del malondialdehído haciendo que todo o parte de él no sea reactivo para la determinación de TBARs (Ventanas y col., 2006).

Por otra parte, varios autores han señalado también una estrecha relación entre la oxidación de los lípidos y la de la mioglobina (Faustman & Cassens, 1990; Skibsted y col., 1998). Sin embargo, la relación causa-efecto entre los dos procesos no está completamente clara, especialmente para carnes procesadas, y no se sabe si es la oxidación de lípidos la que provoca oxidación del pigmento o viceversa (Zanardi y col., 2002). Varios autores han atribuido un efecto prooxidante de los lípidos oxidados sobre la mioglobina, ya que algunos productos de la oxidación de los lípidos son capaces de unirse de forma covalente a la mioglobina permitiendo un aumento de la exposición del grupo hemo a la oxidación (Agerbo y col., 1992; Faustman y col., 1999). En cambio, según Akamittath y col. (1990), la oxidación de los pigmentos de músculo puede catalizar la oxidación de lípidos. En los productos cárnicos curados, su complejidad hace muy difícil estudiar las interacciones entre la oxidación de lípidos y el pigmento, debido a los muchos factores involucrados en el procesado y a los aditivos utilizados (Zanardi y col., 2002). Además, algunos autores atribuyen un efecto antioxidante a los nitritos, debido a su capacidad para unirse a la mioglobina y formar nitrosilmioglobina, de manera que el pigmento con esta estructura no puede actuar como catalizador de la peroxidación lipídica (Harms y col., 2003).

Al calcular los índices de correlación de Pearson entre los valores de MDA y el resto de parámetros relacionados con el color, se obtuvo una correlación positiva y favorable entre los valores de MDA y a^* y C ($P < 0.01$) en el caso de salchichón y chorizo "vela" (no así en el caso de chorizo "sarta" $-P > 0.05-$). La correlación entre los valores de TBA e índice de decoloración ($R_{570/650}$) y color rojo ($R_{630/580}$) fue negativa ($P < 0.01$) y positiva, respectivamente ($P > 0.01$) en ambos casos (tabla IV.37).

Estos resultados sugieren, al contrario de lo que se esperaría, que a medida que aumentan los valores de TBA también lo hacen los parámetros relacionados con el color rojo y óptimo de los productos curados. Esta misma tendencia fue encontrada por Cachaldora y col. (2012) en morcilla envasada con una mezcla de 40%N₂+ 60%CO₂ tras 8 semanas de almacenamiento, ya que observaron un aumento de los valores del parámetro a* y TBA en las muestras.

En cuanto al efecto de las distintas atmósferas de envasado, nuestros resultados apenas mostraron diferencias entre los lotes para los tres tipos de embutidos. Sin embargo, varios autores encontraron valores de TBA menores en salchichón y jamón ibérico loncheado durante su envasado al vacío en comparación con las muestras envasadas con diferentes mezclas de gases (Rubio y col. ,2008; Parra y col., 2010; Parra y col., 2012), mientras que según Zanardi y col. (2002), el envasado en atmósferas con un 100% N₂ mantuvo la oxidación de los lípidos de embutidos fermentados bajo control mejor que el vacío, ya que no se observaron diferencias hasta pasados 60 días de almacenamiento, al igual que Rubio y col. (2008), que encontraron valores de TBA menores en las muestras de salchichón envasadas con CO₂ y N₂ que en las envasadas al vacío.

Tabla IV.37: Coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros de color L*,a*, b*, Cromo (C) y Hue (H), los ratios de reflectancia en la superficie de corte y el contenido de malondialdehído de chorizo tipo "sarta", salchichón tipo "sarta" y chorizo tipo "vela".

	L	a	b	Chroma	Hue	Índice decoloración	Índice nitrosación	Color a curado	Color rojo	mg MDA/kg	nmol thiol/mg prot	
Chorizo sarta	L	1	,369(**)	,679(**)	,498(**)	,702(**)	-,241(**)	-0,057	,253(**)	,256(**)	0,048	0,12
	a	,369(**)	1	,820(**)	,978(**)	,124(**)	-,426(**)	0,045	,432(**)	,437(**)	0,228	0,095
	b	,679(**)	,820(**)	1	,921(**)	,658(**)	-,194(**)	-0,013	,205(**)	,210(**)	0,003	0,052
	Chroma	,498(**)	,978(**)	,921(**)	1	,321(**)	-,358(**)	0,03	,365(**)	,371(**)	0,157	0,085
	Hue	,702(**)	,124(**)	,658(**)	,321(**)	1	,190(**)	-,125(*)	-,175(**)	-,172(**)	-0,239	-0,023
	Índice decoloración	-,241(**)	-,426(**)	-,194(**)	-,358(**)	,190(**)	1	-0,078	-,982(**)	-,979(**)	-,547(**)	-,406(**)
	Índice nitrosación	-0,057	0,045	-0,013	0,03	-,125(*)	-0,078	1	-0,02	-0,03	-0,096	-0,068
	Color a curado	,253(**)	,432(**)	,205(**)	,365(**)	-,175(**)	-,982(**)	-0,02	1	,998(**)	,531(**)	,419(**)
	Color rojo	,256(**)	,437(**)	,210(**)	,371(**)	-,172(**)	-,979(**)	-0,03	,998(**)	1	,534(**)	,424(**)
mg MDA/kg	0,048	0,228	0,003	0,157	-0,239	-,547(**)	-0,096	,531(**)	,534(**)	1	,490(**)	
nmol thiol/mg prot	0,12	0,095	0,052	0,085	-0,023	-,406(**)	-0,068	,419(**)	,424(**)	,490(**)	1	
Salchichón sarta	L	1	,110(*)	,233(**)	,143(**)	,341(**)	-,178(**)	-,145(**)	,182(**)	,188(**)	0,209	0,021
	a	,110(*)	1	,835(**)	,988(**)	,469(**)	-,444(**)	-,359(**)	,432(**)	,449(**)	,424(**)	0,161
	b	,233(**)	,835(**)	1	,909(**)	,858(**)	-,100(*)	-0,076	0,092	0,097	0,145	-0,106
	Chroma	,143(**)	,988(**)	,909(**)	1	,591(**)	-,362(**)	-,292(**)	,351(**)	,365(**)	,375(**)	0,1
	Hue	,341(**)	,469(**)	,858(**)	,591(**)	1	,158(**)	,144(**)	-,166(**)	-,171(**)	-0,122	-,277(*)
	Índice decoloración	-,178(**)	-,444(**)	-,100(*)	-,362(**)	,158(**)	1	,492(**)	-,985(**)	-,982(**)	-,678(**)	-,632(**)
	Índice nitrosación	-,145(**)	-,359(**)	-0,076	-,292(**)	,144(**)	,492(**)	1	-,476(**)	-,558(**)	-,648(**)	-,476(**)
	Color a curado	,182(**)	,432(**)	0,092	,351(**)	-,166(**)	-,985(**)	-,476(**)	1	,993(**)	,631(**)	,623(**)
	Color rojo	,188(**)	,449(**)	0,097	,365(**)	-,171(**)	-,982(**)	-,558(**)	-,476(**)	1	,700(**)	,642(**)
mg MDA/kg	0,209	,424(**)	0,145	,375(**)	-0,122	-,678(**)	-,648(**)	-,648(**)	,631(**)	,700(**)	1	
nmol thiol/mg prot	0,021	0,161	-0,106	0,1	-,277(*)	-,632(**)	-,476(**)	,623(**)	,642(**)	,546(**)	1	
Chorizo vela	L	1	,385(**)	,744(**)	,221(**)	,365(**)	-0,074	,105(*)	0,08	0,083	-,322(*)	-0,124
	a	,385(**)	1	,764(**)	,569(**)	-0,069	-,559(**)	,231(**)	,547(**)	,563(**)	,528(**)	0,137
	b	,744(**)	,764(**)	1	,408(**)	,321(**)	-,166(**)	,148(**)	,158(**)	,166(**)	0,114	0,059
	Chroma	,221(**)	,569(**)	,408(**)	1	,393(**)	-,458(**)	,239(**)	,442(**)	,455(**)	,416(**)	0,119
	Hue	,365(**)	-0,069	,321(**)	,393(**)	1	,351(**)	-0,003	-,353(**)	-,356(**)	-,423(**)	-0,054
	Índice decoloración	-0,074	-,559(**)	-,166(**)	-,458(**)	,351(**)	1	-,194(**)	-,980(**)	-,973(**)	-,483(**)	-0,112
	Índice nitrosación	,105(*)	,231(**)	,148(**)	,239(**)	-0,003	-,194(**)	1	,225(**)	,258(**)	,304(*)	-0,009
	Color a curado	0,08	,547(**)	,158(**)	,442(**)	-,353(**)	-,980(**)	,225(**)	1	,994(**)	,494(**)	0,154
	Color rojo	0,083	,563(**)	,166(**)	,455(**)	-,356(**)	-,973(**)	,258(**)	,994(**)	1	,516(**)	0,16
mg MDA/kg	-,322(*)	,528(**)	0,114	,416(**)	-,423(**)	-,483(**)	,304(*)	,494(**)	,516(**)	1	0,166	
nmol thiol/mg prot	-0,124	0,137	0,059	0,119	-0,054	-0,112	-0,009	0,154	0,16	0,166	1	

IV.2.6.- Oxidación protéica

La evolución de la oxidación proteica durante el almacenamiento del chorizo y salchichón tipo "sarta" y del chorizo "vela" se muestra en la tabla IV.38. El contenido inicial de grupos sulfidrilos fue de 94.37, 90.61 y 68.2 nmol tiol/mg de proteína en chorizo tipo "sarta", salchichón y chorizo tipo "vela" respectivamente. No se han encontrado valores con los que poder comparar los encontrados inicialmente en el presente estudio.

Tabla IV.38: Evolución de la oxidación proteica (nmol tiol/mg prot) (media \pm error estándar), en chorizo tipo "sarta", salchichón tipo "sarta" y chorizo tipo "vela" almacenados durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	ATMÓSFERA	Chorizo sarta (nmol tiol/mg prot)	Salchichón sarta (nmol tiol/mg prot)	Chorizo vela (nmol tiol/mg prot)
Inicial	Vacío	94,37 \pm 9,18	90,61 \pm 5,09	68,19 \pm 6,06
	70N ₂ /30CO ₂	94,37 ¹ \pm 9,18	90,61 \pm 5,09	68,19 \pm 6,06
	100% N ₂	94,37 ¹² \pm 9,18	90,61 \pm 5,09	68,19 \pm 6,06
	70Argón/30CO ₂	94,37 ¹ \pm 9,18	90,61 \pm 5,09	68,19 \pm 6,06
	P _{envasado}	ns	ns	ns
6 meses	Vacío	93,16ab \pm 14,7	62,06 \pm 5,77	61,92 \pm 11,14
	70N ₂ /30CO ₂	61,15b ² \pm 2,01	79,66 \pm 9,06	56,58 \pm 10,23
	100% N ₂	104,77a ¹ \pm 11,5	62,81 \pm 3,49	56,81 \pm 6,38
	70Argón/30CO ₂	57,23b ² \pm 4,62	69,36 \pm 7,16	53,50 \pm 5,93
	P _{envasado}	*	ns	ns
9 meses	Vacío	63,77 \pm 4,64	53,22 \pm 7,31	70,53 \pm 4,98
	70N ₂ /30CO ₂	69,14 ² \pm 4,37	76,76 \pm 12,09	56,06 \pm 5,28
	100% N ₂	66,13 ² \pm 3,75	57,83 \pm 6,87	73,00 \pm 4,22
	70Argón/30CO ₂	57,62 ² \pm 5,58	48,10 \pm 3,53	57,97 \pm 5,3
	P _{envasado}	ns	ns	ns
12 meses	Vacío	62,15b \pm 2,91	53,46 \pm 3,69	67,86 \pm 9,54
	70N ₂ /30CO ₂	74,34b ¹² \pm 4,23	57,54 \pm 1,63	79,37 \pm 5,62
	100% N ₂	91,06a ¹² \pm 3,67	56,05 \pm 2,63	61,63 \pm 4,74
	70Argón/30CO ₂	69,35b ² \pm 5,31	63,01 \pm 5,28	68,23 \pm 8,98
	P _{envasado}	***	ns	ns

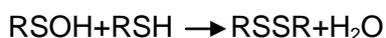
Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c.: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

En la tabla IV.38 puede observarse una tendencia general descendente del contenido en grupos sulfidrilos libres, significativa en el caso del chorizo "sarta"

($P > 0.05$) en la mayoría de los lotes, y no significativa en el caso de salchichón y de chorizo tipo "vela" ($P > 0.05$), hasta valores finales después de 12 meses de entre 62,15-91,06, 53,46-63,01 y 61,63-79,37 nmol tiol/mg de proteína en chorizo tipo "sarta", salchichón y chorizo tipo "vela" respectivamente. El descenso en el contenido en grupos sulfidrilo indica un aumento de las reacciones de oxidación que afectan a las proteínas, ya que el grupo tiol de aminoácidos como la cisteína se oxida en presencia del peróxido de hidrógeno que se forma en las células y se acumula en la carne post-mortem para formar diversos productos oxidados tales como ácido sulfónico (RSOH), ácido sulfínico (RSOOH) y enlaces disulfuro cruzados (RSSR) (Lund y col., 2011), tal y como se muestra en las siguientes reacciones:



Apenas se han encontrado en la bibliografía, referencias sobre la oxidación de las proteínas en productos cárnicos curados o su evolución durante el almacenamiento de los mismos. Autores como Cava y col. (2009), al igual que nosotros, observaron un aumento de la oxidación proteica tanto en jamón ibérico como en lomo curado envasados al vacío durante su almacenamiento en refrigeración, si bien estos autores cuantificaron los grupos carbonilo y no los grupos tiol. Las reacciones de oxidación proteica ocasionan, por ejemplo, entrecruzamientos de las proteínas miofibrilares que deterioran la calidad sensorial, incrementando la dureza y disminuyendo la capacidad de retención de agua (Lund y col., 2007b; Xiong y col., 2000). Además, los procesos oxidativos de las proteínas no sólo degradan sus propiedades funcionales, sino que también reducen el valor nutritivo de la carne debido a la pérdida de aminoácidos esenciales y la menor digestibilidad (Lund y col., 2011). Como ya se ha dicho anteriormente, algunos autores han observado que la oxidación de lípidos y proteínas está relacionada a través de la formación de radicales peróxido que pueden reaccionar tanto con lípidos como con proteínas (Srinivasan & Hultin, 1995). El ambiente en el que ocurre la oxidación de proteínas y lípidos (tipo de músculo, especie animal, etc.) tiene una gran influencia en el "acoplamiento" de los dos procesos oxidativos (Lund y col., 2011). Mientras que la modificación oxidativa de las proteínas musculares puede tener lugar en ausencia de lípidos, es decir, por ejemplo mediante reacciones catalizadas por metales, es muy poco probable que la oxidación de los lípidos y las proteínas se lleve a cabo de forma independiente en la carne (Lund y col., 2011).

Según Soyer & Hultin (2000), en los sistemas biológicos como el músculo, la oxidación de las proteínas puede ocurrir más rápidamente que la de los lípidos, debido a que éstas se encuentran en la fase acuosa, que es donde se forman los radicales. Por el contrario, otros autores (Vuorela y col., 2005, Estevez y col., 2008) afirman que el inicio de la oxidación de los lípidos en la carne tendría lugar más rápidamente que la degradación oxidativa de las proteínas miofibrilares y, por tanto, es más probable que los radicales derivados de los lípidos y los hidroperóxidos promuevan la oxidación de las proteínas que al revés (Lund y col., 2011). De hecho, se ha comprobado que los radicales peroxilo formados durante la oxidación de lípidos extraen los átomos de hidrógeno de las moléculas de proteína, lo cual conduce a una reacción en cadena similar a la de la oxidación de los lípidos (Stadtman y col., 2003).

Los resultados de oxidación proteica obtenidos en el presente trabajo siguen la misma evolución ascendente, aunque no estadísticamente significativa, que los obtenidos para la oxidación lipídica, e indicaron la posible vinculación de la oxidación de lípidos y proteínas. De hecho, se encontró una correlación estadísticamente significativa en chorizo tipo "sarta" y salchichón ($R=0.490$; $P<0.01$; $R=0.546$; $P<0.01$, respectivamente) y no significativos para el chorizo vela, entre la oxidación de lípidos y proteínas. Resultados similares se han encontrado previamente en carne de ternera (Mercier y col., 1995) y pavo (Mercier y col., 1998), en paté (Estévez y col., 2004) y en salchichas refrigeradas (Estévez y col., 2007).

En cuanto a las diferencias en la oxidación de proteínas debido al tipo de envasado, en general puede decirse que no hubo diferencias estadísticamente significativas, salvo alguna excepción puntual en el caso de chorizo "sarta". En este producto, después de 6 y 12 meses de almacenamiento, los valores más altos en el contenido de grupos tiol fueron encontrados en las atmósferas de envasado que contenían 100% de N_2 , y los más bajos en aquellas envasadas con la mezcla de argón y CO_2 o al vacío. Según autores como Jongberg y col. (2011), se puede encontrar un efecto antioxidante alternativo por el envasado de la carne con CO_2 . Durante el almacenamiento, el dióxido de carbono es absorbido por la grasa y el tejido muscular del producto cárnico (Gill, 1988). Además, es sabido que el CO_2 reacciona con aminoácidos y aminas, tales como el grupo amino de la lisina y la arginina, de forma que bloqueando este grupo amino se puede prevenir la formación de carbonilos en la carne y por tanto la oxidación proteica (Jongberg y col., 2011). Por otro lado, autores como Filgueras y col. (2010) concluyeron con sus estudios que el envasado al vacío era apropiado para controlar eficientemente la oxidación proteica durante el

almacenamiento en refrigeración de carne de ñandú. Sin embargo, Estevez (2011) ha afirmado que el efecto de las condiciones de envasado en oxidación de las proteínas de la carne es variable y depende de la especie.

IV.2.7.- Análisis sensorial

En las tablas IV.39, IV.40 y IV.41, se presentan los resultados de la evaluación sensorial realizada al chorizo "sarta", salchichón "sarta" y chorizo "vela" envasado en distintas mezclas y almacenados en refrigeración durante 1 año.

Respecto a la evolución de los parámetros sensoriales durante el almacenamiento, en general, la intensidad del color rojo se redujo, de forma significativa en algunos lotes en el caso del chorizo tipo "sarta" y "vela", y no significativa en el caso del salchichón. Esta evolución de la intensidad del color rojo medido instrumentalmente coincide con lo explicado para el parámetro a^* (apartado IV.2.1). De hecho, se encontró una correlación significativa en la evolución del parámetro a^* y el color rojo valorado mediante el análisis sensorial en el chorizo vela ($R=0,203$; $P<0,01$). Además, la evolución de este atributo coincide también con la obtenida para el índice $R630/580$, que determina el color rojo, y el índice de curado ($R650/570$), habiéndose calculado un coeficiente de correlación significativo entre estas dos variables y el color rojo determinado sensorialmente, tanto en chorizo tipo "sarta" como en chorizo "vela" ($R=0,146$; $P<0,01$ y $R=0,144$; $P<0,01$; y $R=0,180$; $P<0,01$ y $R=0,175$; $P<0,01$, respectivamente). Coincidiendo con estos resultados, Fernández-Fernández y col., (2002) observaron que el color externo de las muestras de chorizo, se tornaba marrón durante el almacenamiento. Por el contrario, en otro trabajo de investigación se reportó un aumento del color rojo durante el almacenamiento de chorizo envasado al vacío a lo largo de 41 semanas, lo cual atribuyeron a las bajas presiones a las que estaban sometidas las muestras debido al envasado, que causaron un licuado parcial de la grasa formando exudados grasos de color rojo (Fernández-Fernández y col., 2005).

Tabla IV.39: Evolución de los atributos sensoriales (media \pm error estándar), en chorizo tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

CHORIZO SARTA												
TIEMPO	ATMOSFERA	Color rojo	Intensidad olor	Dureza	Sequedad	Jugosidad	Salado	Ácido	Dulce	Intensidad aroma	Aroma a curado	Rancidez
Inicial	Vacio	7,15 ¹ \pm 0,16	6,39 \pm 0,20	2,04 ³ \pm 0,15	1,44 ³ \pm 0,12	5,04 \pm 0,27	4,07 \pm 0,25	2,32 \pm 0,25	1,57 ² \pm 0,21	5,81 \pm 0,25	3,94 ² \pm 0,24	0,52 ² \pm 0,09
	70N ₂ /30CO ₂	7,15 \pm 0,16	6,39 \pm 0,20	2,04 ³ \pm 0,15	1,44 ² \pm 0,12	5,04 \pm 0,27	4,07 \pm 0,25	2,32 \pm 0,25	1,57 ² \pm 0,21	5,81 \pm 0,25	3,94 ² \pm 0,24	0,52 ² \pm 0,09
	100% N ₂	7,15 ¹ \pm 0,16	6,39 \pm 0,20	2,04 ² \pm 0,15	1,44 ³ \pm 0,12	5,04 \pm 0,27	4,07 \pm 0,25	2,32 \pm 0,25	1,57 ² \pm 0,21	5,81 \pm 0,25	3,94 \pm 0,24	0,52 ² \pm 0,09
	70Argón/30CO ₂	7,15 \pm 0,16	6,39 \pm 0,20	2,04 ³ \pm 0,15	1,44 ² \pm 0,12	5,04 \pm 0,27	4,07 ¹² \pm 0,25	2,32 \pm 0,25	1,57 ² \pm 0,21	5,81 \pm 0,25	3,94 \pm 0,24	0,52 ² \pm 0,09
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
6 meses	Vacio	6,54 ¹² \pm 0,30	6,44 \pm 0,31	3,96a ¹ \pm 0,26	2,88 ¹² \pm 0,26	5,72 \pm 0,29	5,04 \pm 0,27	3,13 \pm 0,36	2,62 ¹² \pm 0,37	6,76 \pm 0,30	5,54 ¹ \pm 0,42	1,92 ¹ \pm 0,26
	70N ₂ /30CO ₂	6,65 \pm 0,30	5,79 \pm 0,32	2,91ab ²³ \pm 0,28	2,80 ¹ \pm 0,37	5,22 \pm 0,44	4,43 \pm 0,28	2,67 \pm 0,30	2,81 ¹² \pm 0,35	5,89 \pm 0,35	4,85 ¹² \pm 0,41	2,24 ¹ \pm 0,35
	100% N ₂	6,20 ¹² \pm 0,28	6,42 \pm 0,24	2,63b ¹² \pm 0,32	2,24 ²³ \pm 0,29	6,10 \pm 0,36	4,62 \pm 0,27	2,83 \pm 0,36	2,91 ¹² \pm 0,39	6,05 \pm 0,33	5,00 \pm 0,44	2,07 ¹ \pm 0,37
	70Argón/30CO ₂	6,29 \pm 0,37	6,67 \pm 0,27	3,37ab ¹² \pm 0,29	2,91 ¹ \pm 0,28	5,45 \pm 0,32	4,96 ¹ \pm 0,23	2,88 \pm 0,32	2,71 ¹² \pm 0,39	6,15 \pm 0,32	5,16 \pm 0,43	1,85 ¹ \pm 0,31
	P _{envasado}	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacio	5,83 ² \pm 0,37	5,42 \pm 0,29	2,64b ²³ \pm 0,28	2,53 ² \pm 0,33	5,30 \pm 0,35	4,04 \pm 0,36	3,01 \pm 0,37	2,21 ¹² \pm 0,43	5,60 \pm 0,32	4,80 ¹² \pm 0,39	1,58 ¹ \pm 0,34
	70N ₂ /30CO ₂	6,53 \pm 0,36	5,95 \pm 0,37	4,48a ¹ \pm 0,28	3,16 ¹ \pm 0,35	4,77 \pm 0,29	3,86 \pm 0,31	2,59 \pm 0,32	1,99 ¹² \pm 0,38	6,17 \pm 0,26	5,58 ¹ \pm 0,40	1,50 ¹ \pm 0,33
	100% N ₂	5,54 ² \pm 0,40	5,56 \pm 0,35	2,77b ¹² \pm 0,31	2,61 ¹² \pm 0,33	4,93 \pm 0,41	3,67 \pm 0,30	2,80 \pm 0,32	2,44 ² \pm 0,34	5,89 \pm 0,30	4,85 \pm 0,38	2,01 ¹ \pm 0,40
	70Argón/30CO ₂	6,21 \pm 0,36	5,81 \pm 0,31	3,62ab ¹ \pm 0,29	3,17 ¹ \pm 0,40	4,86 \pm 0,33	3,49 ² \pm 0,31	2,22 \pm 0,26	2,74 ¹² \pm 0,47	5,75 \pm 0,27	5,44 \pm 0,40	1,29 ¹² \pm 0,29
	P _{envasado}	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacio	6,72 ¹² \pm 0,37	5,90 \pm 0,43	3,60 ¹² \pm 0,31	3,83 ¹ \pm 0,42	5,56 \pm 0,36	4,06 \pm 0,44	2,52 \pm 0,40	3,27 ¹ \pm 0,44	6,10 \pm 0,39	5,93 ¹ \pm 0,47	1,62 ¹ \pm 0,32
	70N ₂ /30CO ₂	6,74 \pm 0,34	5,77 \pm 0,44	3,70 ¹² \pm 0,41	3,56 ¹ \pm 0,48	5,46 \pm 0,39	4,59 \pm 0,44	2,63 \pm 0,35	3,30 ¹ \pm 0,45	5,85 \pm 0,37	5,94 ¹ \pm 0,43	1,95 ¹ \pm 0,35
	100% N ₂	6,45 ¹² \pm 0,41	5,86 \pm 0,43	3,54 ¹ \pm 0,30	3,50 ¹ \pm 0,32	5,15 \pm 0,43	3,84 \pm 0,36	2,48 \pm 0,33	3,77 ¹ \pm 0,43	5,45 \pm 0,42	5,29 \pm 0,45	1,86 ¹ \pm 0,36
	70Argón/30CO ₂	6,52 \pm 0,31	6,00 \pm 0,48	2,63 ²³ \pm 0,33	2,43 ¹² \pm 0,34	5,92 \pm 0,46	3,52 ² \pm 0,39	2,28 \pm 0,33	4,02 ¹ \pm 0,39	5,88 \pm 0,42	5,18 \pm 0,56	1,92 ¹ \pm 0,29
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.40: Evolución de los atributos sensoriales (media ± error estándar), en salchichón tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

SALCHICHÓN SARTA												
TIEMPO	ATMOSFERA	Color rojo	Intensidad olor	Dureza	Sequedad	Jugosidad	Salado	Ácido	Dulce	Intensidad aroma	Aroma a curado	Rancidez
Inicial	Vacio	6,38±0,16	5,32±0,24	3,36±0,20	2,25±0,18	4,54±0,23	3,55±0,26	2,09±0,25	1,41 ² ±0,18	5,25±0,23	4,06 ² ±0,25	0,42 ² ±0,07
	70N ₂ /30CO ₂	6,38±0,16	5,32±0,24	3,36±0,20	2,25 ² ±0,18	4,54±0,23	3,55±0,26	2,09±0,25	1,41 ² ±0,18	5,25±0,23	4,06 ² ±0,25	0,42 ² ±0,07
	100% N ₂	6,38±0,16	5,32±0,24	3,36 ² ±0,20	2,25±0,18	4,54 ² ±0,23	3,55±0,26	2,09±0,25	1,41 ² ±0,18	5,25±0,23	4,06 ² ±0,25	0,42 ² ±0,07
	70Argón/30CO ₂	6,38±0,16	5,32±0,24	3,36 ² ±0,20	2,25±0,18	4,54±0,23	3,55±0,26	2,09±0,25	1,41 ² ±0,18	5,25±0,23	4,06 ² ±0,25	0,42 ² ±0,07
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
6 meses	Vacio	6,02±0,37	5,94±0,33	3,96±0,37	2,93±0,40	5,35±0,42	4,41±0,34	3,19±0,44	2,13 ¹² ±0,39	6,34±0,38	6,03 ¹ ±0,51	1,09 ¹² ±0,24
	70N ₂ /30CO ₂	6,03±0,34	5,57±0,36	4,27±0,24	2,91 ¹² ±0,27	5,22±0,39	4,60±0,34	3,28±0,42	2,42 ¹² ±0,37	6,31±0,37	5,98 ¹ ±0,52	1,41 ¹ ±0,33
	100% N ₂	5,53±0,33	5,33±0,37	3,60 ¹² ±0,30	2,75±0,35	5,40 ¹² ±0,37	4,69±0,32	2,60±0,45	2,50 ¹² ±0,38	6,22±0,28	5,81 ¹ ±0,40	1,09 ¹ ±0,21
	70Argón/30CO ₂	6,40±0,38	5,08±0,35	3,83 ² ±0,22	3,25±0,47	4,65±0,47	4,93±0,37	3,56±0,53	2,04 ¹² ±0,46	6,41±0,43	5,61 ¹² ±0,46	1,58 ¹ ±0,37
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacio	5,98±0,33	6,10±0,28	3,75±0,26	3,27±0,30	4,91±0,28	4,08±0,28	3,05±0,33	2,07 ² ±0,35	5,68±0,34	5,33 ¹² ±0,40	1,02 ¹² ±0,18
	70N ₂ /30CO ₂	5,85±0,33	6,10±0,28	4,06±0,24	3,47 ¹ ±0,30	4,95±0,28	3,87±0,28	2,66±0,30	2,41 ¹² ±0,38	5,71±0,31	5,41 ¹² ±0,37	1,05 ¹² ±0,22
	100% N ₂	5,81±0,34	5,95±0,27	3,78 ¹² ±0,29	3,05±0,30	5,54 ¹² ±0,33	3,73±0,24	2,59±0,34	2,56 ¹² ±0,39	5,58±0,38	5,32 ¹² ±0,41	1,10 ¹ ±0,18
	70Argón/30CO ₂	6,35±0,31	6,02±0,27	4,50 ¹² ±0,29	3,52±0,28	4,84±0,31	3,83±0,28	2,74±0,33	2,08 ¹² ±0,33	5,74±0,35	5,45 ¹² ±0,36	1,15 ¹² ±0,18
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacio	5,60±0,63	6,30±0,76	4,27±0,53	2,88±0,53	5,69±0,36	4,13±0,45	2,82±0,60	3,54 ¹ ±0,70	6,08±0,53	5,72 ¹² ±0,77	1,31 ¹ ±0,61
	70N ₂ /30CO ₂	5,52±0,70	5,76±0,79	3,62±0,60	2,47 ¹² ±0,48	6,09±0,60	4,22±0,43	2,76±0,52	3,39 ¹ ±0,79	6,10±0,54	5,77 ¹ ±0,61	1,38 ¹ ±0,44
	100% N ₂	5,93±0,48	6,53±0,52	4,72 ¹ ±0,51	3,19±0,43	6,37 ¹ ±0,50	4,17±0,53	3,44±0,62	3,24 ¹ ±0,80	6,61±0,64	6,01 ¹ ±0,66	1,03 ¹² ±0,25
	70Argón/30CO ₂	6,58±0,55	6,42±0,52	5,64 ¹ ±0,58	3,89±0,64	5,37±0,56	4,21±0,59	3,49±0,69	3,20 ¹ ±0,78	6,56±0,57	6,51 ¹ ±0,81	1,24 ¹² ±0,49
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

Tabla IV.41: Evolución de los atributos sensoriales (media \pm error estándar), en chorizo tipo "vela" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

CHORIZO VELA												
TIEMPO	ATMOSFERA	Color rojo	Intensidad olor	Dureza	Sequedad	Jugosidad	Salado	Ácido	Dulce	Intensidad aroma	Aroma a curado	Rancidez
Inicial	Vacio	7,37 ¹ \pm 0,16	6,32 \pm 0,23	3,71 \pm 0,19	2,27 \pm 0,14	5,01 \pm 0,19	3,59 \pm 0,21	2,29 \pm 0,22	1,77 ² \pm 0,23	6,40 \pm 0,22	4,57 \pm 0,27	0,64 ³ \pm 0,13
	70N ₂ /30CO ₂	7,37 ¹ \pm 0,16	6,32 \pm 0,23	3,71 \pm 0,19	2,27 \pm 0,14	5,01 \pm 0,19	3,59 \pm 0,21	2,29 \pm 0,22	1,77 ² \pm 0,23	6,40 \pm 0,22	4,57 \pm 0,27	0,65 ² \pm 0,13
	100% N ₂	7,37 ¹ \pm 0,16	6,32 \pm 0,23	3,71 \pm 0,19	2,27 \pm 0,14	5,01 \pm 0,19	3,59 \pm 0,21	2,29 \pm 0,22	1,77 ² \pm 0,23	6,40 \pm 0,22	4,57 ² \pm 0,27	0,64 ³ \pm 0,13
	70Argón/30CO ₂	7,37 ¹ \pm 0,16	6,32 \pm 0,23	3,71 \pm 0,19	2,27 \pm 0,14	5,01 \pm 0,19	3,59 \pm 0,21	2,29 \pm 0,22	1,77 ² \pm 0,23	6,40 \pm 0,22	4,57 \pm 0,27	0,64 ² \pm 0,13
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
6 meses	Vacio	6,20 ² \pm 0,28	6,10 \pm 0,35	3,68 \pm 0,33	2,94 \pm 0,35	4,80 \pm 0,43	4,36 \pm 0,37	2,94 \pm 0,43	2,25 ¹² \pm 0,38	6,39 \pm 0,36	5,31 \pm 0,45	2,14 ² \pm 0,39
	70N ₂ /30CO ₂	6,74 ¹² \pm 0,28	6,55 \pm 0,38	3,77 \pm 0,32	2,63 \pm 0,31	4,76 \pm 0,40	4,16 \pm 0,42	2,62 \pm 0,40	2,55 ¹² \pm 0,30	6,46 \pm 0,37	5,61 \pm 0,44	1,97 ² \pm 0,41
	100% N ₂	6,05 ² \pm 0,32	5,76 \pm 0,40	3,99 \pm 0,34	2,94 \pm 0,40	4,48 \pm 0,44	4,47 \pm 0,41	2,89 \pm 0,40	2,18 ¹² \pm 0,38	5,82 \pm 0,38	4,69 ¹² \pm 0,43	1,98 ² \pm 0,41
	70Argón/30CO ₂	6,39 \pm 0,33	6,03 \pm 0,41	3,69 \pm 0,37	2,82 \pm 0,36	4,60 \pm 0,35	4,23 \pm 0,36	2,80 \pm 0,35	2,08 ¹² \pm 0,34	6,04 \pm 0,38	5,25 \pm 0,48	1,91 ¹ \pm 0,35
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
9 meses	Vacio	5,81 ² \pm 0,32	6,11 \pm 0,37	3,61 \pm 0,29	2,90 \pm 0,28	5,77 \pm 0,27	3,78 \pm 0,36	2,60 \pm 0,36	2,49 ¹² \pm 0,36	5,75 \pm 0,37	5,51 \pm 0,41	1,60 ²³ \pm 0,26
	70N ₂ /30CO ₂	5,91 ² \pm 0,36	6,87 \pm 0,24	3,87 \pm 0,30	3,09 \pm 0,34	5,56 \pm 0,28	3,73 \pm 0,37	2,44 \pm 0,37	2,35 ¹² \pm 0,40	6,17 \pm 0,34	5,55 \pm 0,42	1,95 ² \pm 0,35
	100% N ₂	6,14 ¹² \pm 0,31	5,79 \pm 0,37	4,58 \pm 0,34	3,22 \pm 0,37	5,28 \pm 0,30	3,63 \pm 0,34	2,32 \pm 0,33	2,44 ¹² \pm 0,37	6,40 \pm 0,25	6,07 ¹ \pm 0,38	1,90 ² \pm 0,34
	70Argón/30CO ₂	6,45 \pm 0,32	5,79 \pm 0,34	4,58 \pm 0,28	3,44 \pm 0,36	5,44 \pm 0,36	3,97 \pm 0,36	2,54 \pm 0,32	2,33 ¹² \pm 0,38	6,53 \pm 0,28	5,88 \pm 0,37	1,64 ¹ \pm 0,25
	P _{envasado}	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	Vacio	6,85 ¹² \pm 0,42	6,30 \pm 0,42	3,70 \pm 0,45	2,61 \pm 0,33	5,36 \pm 0,48	4,08 \pm 0,55	3,23 \pm 0,47	2,78 ¹² \pm 0,49	5,80 \pm 0,40	4,30 \pm 0,53	4,15a ¹ \pm 0,81
	70N ₂ /30CO ₂	6,63 ¹² \pm 0,47	6,71 \pm 0,50	3,47 \pm 0,57	2,61 \pm 0,41	5,40 \pm 0,53	3,82 \pm 0,34	2,88 \pm 0,66	3,04 ¹ \pm 0,57	6,30 \pm 0,55	4,20 \pm 0,57	3,60ab ¹ \pm 0,54
	100% N ₂	6,41 ¹² \pm 0,44	5,98 \pm 0,41	4,49 \pm 0,42	3,52 \pm 0,44	5,53 \pm 0,37	4,51 \pm 0,46	2,90 \pm 0,40	2,68 ¹² \pm 0,46	6,01 \pm 0,50	4,82 ² \pm 0,70	3,29ab ¹ \pm 0,35
	70Argón/30CO ₂	6,77 \pm 0,46	6,77 \pm 0,39	3,88 \pm 0,51	2,83 \pm 0,30	5,74 \pm 0,37	3,87 \pm 0,38	2,78 \pm 0,57	2,78 ¹² \pm 0,44	6,39 \pm 0,37	5,14 \pm 0,60	1,72b ¹ \pm 0,34
	P _{envasado}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

Niveles de significación: ns=>0.05:*=p<0.05: **= p<0.01: ***= p<0.001.

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento, p<0.05, test de Tukey.

a,b,c,: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre lotes de envasado, test de Tukey

En cuanto a los parámetros relacionados con la textura, en general no hubo cambios significativos de la dureza, sequedad y jugosidad durante el almacenamiento en refrigeración ($P > 0.05$), a excepción del chorizo tipo "sarta", en el que la dureza y sequedad aumentaron ($P < 0.05$). El hecho de que la dureza y la sequedad no hayan aumentado de forma sustancial durante 12 meses de envasado y almacenamiento en refrigeración es muy conveniente, ya que uno de los principales problemas de este tipo de productos es el endurecimiento por desecación. Rubio y col. (2007) atribuyeron el aumento de la dureza en Cecina de León envasada al vacío a un gradiente de humedad en el producto, debido a que se produce una migración del contenido acuoso desde las partes más húmedas hacia las áreas más secas, es decir, hacia el exterior del producto, por lo que se produce un endurecimiento del interior. El mantenimiento de la jugosidad es también muy positivo, desde el punto de vista de la calidad del producto. Otros autores tampoco observaron ningún efecto del almacenamiento sobre los atributos de dureza y jugosidad en chorizo envasado al vacío durante 16 semanas (Fernández-Fernández y col. 1997). Las propiedades sensoriales de los embutidos están muy influidas por la composición y tipología de la fracción lipídica, así como por los fenómenos hidrolíticos y oxidativos que pueda sufrir ésta (Summo y col., 2010a). Así, la fracción lipídica afecta a la estructura, jugosidad, color y sabor de los productos de charcutería (Keeton, 1994; Dransfield, 2008). En nuestro trabajo hemos obtenido relación significativa entre la oxidación de los lípidos y los parámetros sensoriales relacionados con la textura (dureza y jugosidad) en el chorizo tipo "sarta" ($R = -0,322$; $P < 0,05$ y $R = -0,267$; $P < 0,05$, respectivamente). De igual forma, hemos observado una correlación negativa entre el contenido de grupos tiol y estos dos parámetros también en chorizo "sarta" ($R = -0,363$; $P < 0,01$ y $R = -0,368$; $P < 0,01$, respectivamente), es decir, a medida que disminuye el número de grupos tiol y por tanto aumenta la oxidación de proteínas, aumenta la puntuación de esos parámetros sensoriales.

Respecto a los parámetros relacionados con el gusto, el gusto salado y ácido se mantuvieron constantes durante todo el periodo de almacenamiento de 12 meses en los tres productos estudiados. Fernández-Fernández y col. (1997) tampoco observaron ningún efecto del almacenamiento sobre el gusto ácido en chorizo envasado al vacío, si bien el periodo de almacenamiento fue sustancialmente menor que el presente estudio (16 semanas). Por el contrario, Fernández-Fernández y col. (2005), encontraron un aumento del gusto ácido en chorizo envasado tanto al vacío como en atmósferas de CO_2 , N_2 o $50\% \text{CO}_2:50\% \text{N}_2$ a lo largo de su almacenamiento durante 29 semanas. Summo y col. (2010a) también observaron un aumento del gusto

ácido tras dos meses de almacenamiento en refrigeración de embutidos crudos curados elaborados con carne de cerdo y envasados al vacío almacenados durante 5 meses, al igual que Fernández-Fernández y col. (2002, 2005) en embutidos envasados tanto al vacío como en atmósferas modificadas. Respecto al gusto dulce, éste aumentó significativamente ($P < 0.05$) en el presente estudio.

El gusto está relacionado con la presencia de compuestos de bajo peso molecular, tales como cloruro de sodio, aminoácidos, péptidos y nucleótidos, iones inorgánicos, aminas, sulfuros y compuestos de nitrógeno en los alimentos (Grill y col., 1987). Además, las características de textura, que están principalmente relacionadas con los fenómenos de proteólisis y la capacidad de retención de agua de las proteínas, influyen en la masticación de los embutidos, y por tanto también afectan a la percepción del sabor (Buettner & Schieberle, 2000). Las principales sustancias responsables del sabor de la carne y productos cárnicos son sales inorgánicas, péptidos, aminoácidos, ácidos orgánicos, productos de la descomposición del ATP (derivados de la ATP) y azúcares cuando están presentes (Mateo y col., 1996). La proteólisis originada por microorganismos y enzimas endógenas, genera una gran cantidad de aminoácidos y péptidos responsables del gusto dulce y amargo de los embutidos. Parece que los aminoácidos leucina y valina podría producir un gusto amargo, alanina un gusto dulce y valina y lysina dulce y amargo (Mateo y col., 1996). A través de la lipólisis, los ácidos grasos liberados de la grasa, contribuyen también al sabor amargo de éstos (Mateo y col., 1996). Así mismo, el ácido láctico generado por las bacterias ácido-lácticas, y en menor medida el ácido acético, son también responsables del sabor amargo y picante de embutidos crudos curados (Lücke, 1985).

Respecto a los parámetros relacionados con el olor y el aroma, la intensidad del olor y del aroma de los productos estudiados no variaron significativamente durante los 12 meses de almacenamiento en refrigeración ($P > 0.05$) en los tres productos curados. El aroma a curado mostró una tendencia ascendente en chorizo "sarta" y salchichón, alcanzando en algunos casos valores de significación estadística (especialmente en el caso del salchichón). En el caso del chorizo "vela", el aroma a curado no varió durante los 12 meses de almacenamiento. Respecto a la rancidez, esta aumentó significativamente durante el periodo de almacenamiento en refrigeración ($P < 0.05$) en los tres productos evaluados sensorialmente. Coincidiendo con estos resultados, Summo y col. (2010a) también observaron un aumento del olor y sabor rancio después de 3 meses de almacenamiento de embutidos crudos curados elaborados con carne de cerdo y envasados al vacío almacenados durante 5 meses,

al igual que Fernández-Fernández y col. (2002, 2005), que también encontraron un aumento del sabor a rancio en las muestras a lo largo del envasado de embutidos tanto al vacío como en atmósferas modificadas. La rancidez en embutidos se ha asociado con la formación de aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos a través de la autooxidación de los lípidos y, en menor medida, con la producción de aminoácidos como la lisina, tirosina o ácido aspártico (Morrissey y col., 1998; Ordoñez y col., 1999). El aumento de la rancidez en los tres productos estudiados no concuerda con los resultados obtenidos para la oxidación lipídica medida mediante el método de TBARs. Al igual que nosotros, Summo y col. (2010a), observaron que los valores de TBA se mantuvieron estables durante el almacenamiento de embutidos crudos curados aunque registraron un aumento del sabor y olor a rancio. Valores de TBA cercanos a 2 mg de MDA/kg han sido descritos por Ansorena y Astiasarán (2004) como límite de aceptabilidad para la rancidez en embutidos fermentados. Sin embargo, en el presente trabajo, estos valores de TBA fueron obtenidos al comienzo del almacenamiento, mientras que se produjo una disminución del contenido de malondialdehído en los tres productos a lo largo de los 12 meses de envasado. De hecho, en los tres tipos de embutidos se ha encontrado una correlación negativa entre el contenido en malondialdehído y la rancidez percibida sensorialmente, que ha sido significativa en el caso del salchichón tipo "sarta" y el chorizo "vela" ($R=-0,475$; $P<0,01$ y $R=-0,303$; $P<0,05$, respectivamente). Al final de la maduración de este tipo de embutidos, el valor medio de la concentración de malonaldehído es aproximadamente 1 mg de MDA/kg de producto, e incluso valores más bajos (Aguirrezábal, 1993; Fanco y col., 2002). En nuestro trabajo, el contenido de malonaldehído en salchichón está próximo a este valor ($1,17\pm 0,04$), pero los valores iniciales de malonaldehído en chorizo tipo "sarta" y chorizo "vela" son superiores ($2,06\pm 0,06$ y $2,13\pm 0,20$, respectivamente). Domínguez y col. (1991) observaron un valor de TBA en chorizo después de 35 días de maduración superior a los encontrados por nosotros (2,21 mg de MDA/kg), aunque estos autores indicaron que este valor es insuficiente para la detección sensorial de la rancidez.

En cuanto al efecto del tipo de atmósferas de envasado sobre los parámetros sensoriales evaluados en chorizo "sarta", salchichón y chorizo "vela", en general este no fue estadísticamente significativo ($P>0,05$). Por el contrario, los escasos estudios encontrados a este respecto sugieren que el envasado al vacío conserva mejor las propiedades sensoriales de los productos curados, en comparación con el envasado con gases. Así, Parra y col. (2012), observaron un ligero aumento del olor a rancio en jamón ibérico loncheado y envasado en atmósferas con 70% N_2 +30% CO_2 y 70%

Argón+30% CO₂ tras 60 días de almacenamiento en comparación con las muestras envasadas al vacío. Cilla y col. (2006), también observaron en jamón que el aroma se conservaba mejor mediante el envasado al vacío en mezclas de gases con 80% N₂ y 20% CO₂. Fernández-Fernández (2002) obtuvieron resultados similares para embutidos sometidos al vacío y a envasado en atmósfera modificada.

IV.2.8.- Resultados microbiológicos

Las tablas IV.42, IV.43 y IV.44 presentan la evolución del recuento de microorganismos aerobios mesófilos y bacterias lácticas en chorizo y salchichón “sarta” y en chorizo “vela” a lo largo del tiempo de almacenamiento para cada uno de los lotes en estudio. El recuento del resto de los microorganismos investigados (indicadores higiénico-sanitarios: *E. coli*, *Cl. sulfito-reductores*, *Cl. perfringens*, *S. aureus*, *Salmonella* y *Listeria*) permaneció siempre por debajo del límite de detección (10 ufc/g) (datos no mostrados).

Los valores iniciales de microorganismos mesófilos y bacterias lácticas en chorizo tipo “sarta”, salchichón y chorizo tipo “vela” fueron $7,95 \pm 0,08$ ufc/g y $7,55 \pm 0,10$ ufc/g, $7,93 \pm 0,08$ ufc/g y $7,57^1 \pm 0,15$ ufc/g, y $8,01 \pm 0,06$ ufc/g y $7,83^{12} \pm 0,05$ ufc/g, respectivamente. Estos valores son ligeramente más bajos que los encontrados por Rubio y col. (2007) en salchichón (8,19-8,44 ufc/gr y 8,05-8,30 ufc/g de bacterias mesófilas y bacterias lácticas, respectivamente).

Tabla IV.42: Recuentos microbiológicos (media \pm error estándar) en chorizo tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

TIEMPO	CHORIZO SARTA		
	ATMOSFERA	MESOFILOS	BACT. LACTICAS
Inicial	Vacio	7,95 ¹ \pm 0,08	7,55 ¹ \pm 0,10
	70N ₂ /30CO ₂	7,95 \pm 0,08	7,55 ¹ \pm 0,10
	100% N ₂	7,95 ¹ \pm 0,08	7,55 ¹ \pm 0,10
	70Argón/30CO ₂	7,95 \pm 0,08	7,55 ¹² \pm 0,10
	P _{envasado}	-	-
6 meses	Vacio	7,59 ¹ \pm 0,14	7,63 ¹ \pm 0,07
	70N ₂ /30CO ₂	8,01 \pm 0,27	7,63 ¹ \pm 0,07
	100% N ₂	7,59 ¹ \pm 0,14	7,62 ¹ \pm 0,04
	70Argón/30CO ₂	7,91 \pm 0,10	7,67 ¹ \pm 0,11
	P _{envasado}	ns	ns
9 meses	Vacio	7,48 ¹ \pm 0,07	7,36a ¹ \pm 0,09
	70N ₂ /30CO ₂	7,08 \pm 0,31	6,48c ² \pm 0,14
	100% N ₂	6,90 ² \pm 0,19	6,81bc ² \pm 0,18
	70Argón/30CO ₂	7,49 \pm 0,21	7,03ab ² \pm 0,07
	P _{envasado}	ns	***
12 meses	Vacio	6,89 ² \pm 0,18	6,32 ² \pm 0,25
	70N ₂ /30CO ₂	7,00 \pm 0,32	6,01 ² \pm 0,35
	100% N ₂	7,54 ¹² \pm 0,23	6,67 ² \pm 0,29
	70Argón/30CO ₂	6,97 \pm 0,49	6,15 ³ \pm 0,23
	P _{envasado}	ns	ns

Se representa la media \pm error estándar del Log UFC/g

Niveles de significación: ns=>0.05: * = p<0.05: ** = p<0.01: *** = p<0.001

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, test de Tukey

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo día de almacenamientos indican diferencias significativas entre tiempos

Tabla IV.43: Recuentos microbiológicos (media \pm error estándar) en salchichón tipo "sarta" almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

SALCHICHÓN SARTA			
TIEMPO	ATMOSFERA	MESOFILOS	BACT. LACTICAS
Inicial	Vacio	7,93 \pm 0,08	7,57 ¹ \pm 0,15
	70N ₂ /30CO ₂	7,93 \pm 0,08	7,57 ¹ \pm 0,15
	100% N ₂	7,93 \pm 0,08	7,57 \pm 0,15
	70Argón/30CO ₂	7,93 \pm 0,08	7,57 \pm 0,15
	P _{envasado}	-	-
6 meses	Vacio	6,92 \pm 0,12	6,45 ² \pm 0,21
	70N ₂ /30CO ₂	6,90 \pm 0,28	6,55 ² \pm 0,18
	100% N ₂	6,86 \pm 0,65	5,25 \pm 1,13
	70Argón/30CO ₂	7,46 \pm 0,17	7,06 \pm 0,14
	P _{envasado}	ns	ns
9 meses	Vacio	7,31 \pm 0,28	6,30 ² \pm 0,31
	70N ₂ /30CO ₂	7,95 \pm 0,06	6,64 ² \pm 0,24
	100% N ₂	7,55 \pm 0,12	6,99 \pm 0,24
	70Argón/30CO ₂	7,41 \pm 0,34	6,82 \pm 0,42
	P _{envasado}	ns	ns
12 meses	Vacio	6,72 \pm 0,53	6,11 ² \pm 0,25
	70N ₂ /30CO ₂	7,05 \pm 0,66	6,27 ² \pm 0,34
	100% N ₂	7,38 \pm 0,30	6,75 \pm 0,19
	70Argón/30CO ₂	7,12 \pm 0,26	6,75 \pm 0,45
	P _{envasado}	ns	ns

Se representa la media \pm error estándar del Log UFC/g

Niveles de significación: ns= $>$ 0.05:*= p <0.05: **= p <0.01: ***= p <0.001

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, test de Tukey

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo día de almacenamientos indican diferencias significativas entre tiempos

Tabla IV.44: Recuentos microbiológicos (media \pm error estándar) en chorizo tipo “vela” almacenado durante un año al vacío y en distintas atmósferas de gases.

CHORIZO VELA			
TIEMPO	ATMOSFERA	MESOFILOS	BACT. LACTICAS
Inicial	Vacio	8,01 \pm 0,06	7,83 ¹² \pm 0,05
	70N ₂ /30CO ₂	8,01 ¹² \pm 0,06	7,83 ¹² \pm 0,05
	100% N ₂	8,01 ¹ \pm 0,06	7,83 ¹² \pm 0,05
	70Argón/30CO ₂	8,01 \pm 0,06	7,83 ¹ \pm 0,05
	P _{envasado}	-	-
6 meses	Vacio	8,09 \pm 0,08	8,20 ¹ \pm 0,05
	70N ₂ /30CO ₂	8,28 ¹ \pm 0,10	8,08 ¹ \pm 0,08
	100% N ₂	8,24 ¹ \pm 0,05	8,12 ¹ \pm 0,07
	70Argón/30CO ₂	8,01 \pm 0,17	8,15 ¹ \pm 0,10
	P _{envasado}	ns	ns
9 meses	Vacio	8,13a \pm 0,12	7,52 ² \pm 0,22
	70N ₂ /30CO ₂	7,94a ² \pm 0,08	7,37 ² \pm 0,21
	100% N ₂	7,89a ¹ \pm 0,12	7,42 ² \pm 0,19
	70Argón/30CO ₂	7,27b \pm 0,22	6,96 ² \pm 0,20
	P _{envasado}	**	ns
12 meses	Vacio	7,58 \pm 0,60	7,96 ¹² \pm 0,14
	70N ₂ /30CO ₂	8,06 ¹² \pm 0,03	7,74 ¹² \pm 0,06
	100% N ₂	6,36 ² \pm 0,43	7,76 ¹² \pm 0,16
	70Argón/30CO ₂	6,62 \pm 0,70	7,77 ² \pm 0,11
	P _{envasado}	ns	ns

Se representa la media \pm error estándar del Log UFC/g

Niveles de significación: ns=>0.05: * = p<0.05: ** = p<0.01: *** = p<0.001

a,b,c: Diferentes letras en el mismo tiempo indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, test de Tukey

1,2,3: Diferentes superíndices en el mismo día de almacenamientos indican diferencias significativas entre tiempos

En los tres tipos de embutidos, el recuento de microorganismos aerobios mesófilos disminuyó en todos los tipos de envasado durante el periodo de almacenamiento, de forma significativa, en el chorizo tipo “sarta” envasado a vacío y con 100% N₂ (P<0,05), y en el chorizo “vela” envasado con la mezcla 70N₂/30CO₂ y con 100% N₂ (P<0,05). Resultados similares fueron encontrados por Rubio y col. (2007b) en salchichón envasado tanto al vacío como en atmósferas que contenían 20% CO₂+80% N₂ durante su almacenamiento a lo largo de 210 días. Rubio y col.

(2006) sin embargo, observaron un incremento del recuento de aerobios mesófilos en “Cecina de León” loncheada envasada al vacío, pero por el contrario, estos recuentos disminuyeron cuando la mezcla de gases estuvo formada por 80% CO₂+20% N₂ y se mantuvieron estables en las muestras envasadas en atmósferas con 20% CO₂+80% N₂. La disminución del recuento de aerobios mesófilos observada en el presente estudio durante el almacenamiento podría deberse a que el ambiente anóxico de los envases retarda el crecimiento microbiano y retrasa su deterioro debido a la lenta proliferación de bacterias capaces de tolerar condiciones anaerobias (Martínez y col., 2006). Además, en las atmósferas que contenían CO₂, esta disminución puede atribuirse al efecto bacteriostático de este gas, especialmente frente a microorganismos Gram negativos (Rubio y col., 2007a), que suelen ser los responsables de la alteración de la carne y productos cárnicos. El efecto inhibitorio del CO₂ depende de la sensibilidad de los microorganismos a éste, así como la cantidad de CO₂ disuelto en la fase acuosa del producto (Rubio y col., 2006).

No obstante, en el presente trabajo, la distinta composición de la atmósfera de envasado no tuvo ningún efecto significativo en el recuento de microorganismos aerobios mesófilos, excepto en el chorizo vela a los 9 meses de almacenamiento, donde fueron inferiores en la mezcla de gases compuesta por 70%Argón/30%CO₂.

En cuanto a las bacterias lácticas, éstas constituyen la flora dominante de embutidos debido a su buena adaptación al ambiente de la carne y su rápido crecimiento durante la fermentación, así como a ambientes enriquecidos con CO₂ (García-Esteban y col., 2004). En el chorizo “sarta”, en todos los lotes de envasado se pudo observar un aumento del recuento de bacterias lácticas tras 6 meses de almacenamiento. No obstante, a partir de este momento, se produjo una disminución progresiva de los recuentos hasta por debajo de los valores iniciales. De la misma forma, en el chorizo “vela”, también se produjo un aumento del recuento de bacterias lácticas durante los primeros 6 meses de almacenamiento, y a partir de este momento los recuentos disminuyeron hasta valores similares a los iniciales al final del periodo de almacenamiento en todos los lotes de envasado (P<0.05). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Rubio y col. (2007b) en salchichón envasado tanto al vacío como en mezclas de 20% CO₂+80% N₂, ya que observaron un incremento inicial del recuento de bacterias ácido lácticas, aunque los recuentos volvieron a disminuir hasta valores similares a los iniciales al final del periodo de almacenamiento. Estos mismos autores (Rubio y col., 2006) también encontraron un incremento significativo de los recuentos de bacterias lácticas en Cecina de León loncheada durante su

almacenamiento envasada al vacío, pero sin embargo obtuvieron pequeños cambios cuando el envasado se llevó a cabo con mezclas de gases. De la misma forma, Santos y col. (2005) observaron un rápido aumento del recuento de estos microorganismos durante el envasado de Morcilla de Burgos en atmósferas que contenían diferentes porcentajes de CO₂ y N₂, pero el número siempre fue menor que el encontrado en las muestras envasadas al vacío.

Por el contrario, en el salchichón tipo “sarta”, se pudo observar una disminución del recuento de bacterias lácticas a lo largo del tiempo de almacenamiento, de manera significativa en los lotes envasados al vacío y con una atmósfera de 70N₂/30CO₂ (P<0,05).

En cuanto a las diferencias debidas al tipo de envasado, no se observaron diferencias significativas entre los lotes en el recuento de bacterias lácticas, únicamente en el chorizo “sarta” a los 9 meses de almacenamiento, donde los recuentos más altos se encontraron en el lote envasado al vacío (P<0,001).

La ausencia de recuentos para el resto de microorganismos (*E. coli*, *Cl. sulfitorreductores*, *Cl. perfringens*, *S. aureus*, *Salmonella* y *Listeria*) podría ser debida al fuerte efecto competitivo que ejercen las bacterias lácticas sobre el resto de la flora endógena, puesto que además, las bacterias ácido lácticas inhiben el crecimiento de bacterias Gram negativas (ejm. *E.coli* y *Salmonella*) mediante la producción de ácidos orgánicos y diversos productos metabólicos antibacterianos (Weber, 1994; Holzapfel y col., 1995). Al igual que en nuestro estudio, según Rubio y col. (2007b), los recuentos de enterobacterias en salchichón envasado a vacío y en mezcla de gases permanecieron por debajo del límite de detección a partir de 15 días de almacenamiento, mientras que Santos y col. (2005) no detectaron clostridium sulfitorreductores, estafilococos ni enterococos en ninguna muestra de morcilla de burgos envasadas durante 47 días al vacío y en diferentes proporciones de N₂ y CO₂.

CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

1.- Un periodo de almacenamiento en congelación a -18°C durante un año y medio provoca una limitada reducción de la intensidad de color rojo, luminosidad y dureza de la carne "de presa" (*Serratus ventralis*), así como una limitada disminución de la estabilidad oxidativa. La calidad higiénica no se ve comprometida en dichas condiciones. Por todo ello, puede decirse que la carne "de presa" (*Serratus ventralis*) puede mantenerse congelada durante un año y medio sin detrimento de su calidad.

2.- Los datos de reflectancia pueden utilizarse para diferenciar carne fresca y congelada durante un año o durante un año y medio utilizando los modelos SIMCA. Sin embargo, no se pudo discriminar la carne congelada/descongelada y posteriormente almacenada en atmósferas modificadas durante 7 días.

3.- Los índices calculados a partir de los datos de reflectancia obtenidos en la superficie de corte de carne de presa son válidos para el estudio de la evolución del color como resultado del efecto de los factores estudiados en dicha carne "de presa" (tiempo de congelación, y tiempo de almacenamiento en refrigeración/EAM), por su consistencia general con el color medido instrumental y sensorialmente.

4.- El color y la ternura de la carne "de presa" fresca (*Serratus ventralis*) previamente congelada no se vio perjudicado durante su posterior almacenamiento en atmósfera modificada durante 7 días. De forma general, ni la estabilidad oxidativa ni la higiénica se vieron comprometidas durante el almacenamiento en atmósferas modificadas en las condiciones del presente estudio. Por todo ello, puede decirse que la carne "de presa" (*Serratus ventralis*) puede mantenerse almacenada en atmósferas modificadas en las condiciones del presente estudio durante 7 días, sin detrimento de su calidad.

5.- El perfil sensorial de las muestras de carne "de presa" (*Serratus ventralis*) no resultó afectado negativamente por el periodo de congelación de un año y de un año y medio. El perfil sensorial de las muestras de carne "de presa" (*Serratus ventralis*) almacenadas durante en congelación y posteriormente descongeladas no resultó afectado negativamente por el periodo de refrigeración/EAM de 7 días e incluso se vio mejorado para las muestras mantenidas en congelación durante 1 año.

6.- La intensidad del color rojo y la luminosidad de la superficie de corte del chorizo "sarta", "vela" y salchichón se redujeron y la dureza aumentó durante el almacenamiento de 12 meses en refrigeración. La estabilidad oxidativa de lípidos y proteínas disminuyó durante el almacenamiento en los tres tipos de embutidos. En el caso de chorizo, fue el envasado al vacío el que propició un mejor aspecto del producto, mientras que en salchichón, lo fue el envasado con un 70% de N₂ + 30% CO₂. La textura no resultó afectada por el gas de envasado, al igual que la estabilidad oxidativa. Teniendo estos resultados en cuenta y el hecho de que los indicadores de calidad higiénica fueron adecuados, puede decirse que los embutidos crudos curados pueden almacenarse en las condiciones del presente estudio, durante un año.

7.- Los datos de reflectancia aplicados a los modelos SIMCA no pudieron discriminar embutidos crudos curados de cerdo Ibérico almacenados en distintas condiciones de envasado y durante distintos tiempos.

8.- De los índices de color estudiados, el índice de decoloración, el índice de curado y el índice de color rojo son los que muestran una mejor correlación con a*, C, hue y color rojo medido sensorialmente, en los tres productos cárnicos curados fermentados.

9.- La intensidad del color rojo medido sensorialmente se redujo durante el tiempo de almacenamiento de los tres productos cárnicos curados fermentados en las condiciones del presente estudio. En general, no se detectó un aumento de la dureza en los tres productos a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento. Del resto de parámetros sensoriales, solo la rancidez aumentó durante el almacenamiento en los tres productos estudiados. El envasado al vacío o en las tres atmósferas aplicadas no provocó diferencias en el resto de características sensoriales de los tres productos cárnicos crudos curados fermentados estudiados.

BIBLIOGRAFÍA

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abdallah, M.B.; Marchello, J.A.; Ahmad, H. (1999). Effect of Freezing and Microbial Growth on Myoglobin Derivatives of Beef. *J. Agric. Food Chem.*, 47, 4093-4099
- Abuja, P. M., & Albertini, R. (2001). Methods for monitoring oxidative stress, lipid peroxidation and oxidation resistance of lipoproteins. *Clinica Chimica Acta*, 306, 1-17.
- Agerbo, P., Jorgensen, B. M., Jensen, B., Borresen, T., & Holmer, G. (1992). Enzyme inhibition by secondary lipid autoxidation products from fish oil. *Journal of Nutrition Biochemistry*, 3, 549-553.
- Aguirrezábal, M. M. (1993). Influencia de diferentes ingredientes en el proceso madurativo del chorizo. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- Akamittath, J. G., Brekke, C. J., & Schanus, E. G. (1990). Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. *Journal of Food Science*, 55, 1513-1517.
- Alizadeh, E.; Chapleau, N.; de Lamballerie, M.; Le Blail, A. (2007). Effect of different freezing processes on the microstructure of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 493-499.
- Álvarez García, N. (2003). Características del cerdo Ibérico. En: Utilización de la Tecnología NIRS con sonda de fibra óptica para el control de la calidad de productos Ibéricos. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca, pp 7-21.
- Andrés, A.I., Ruiz, J., Mayoral, A.I., Tejeda, J.F., & Cava, R. (2000). Influence of rearing conditions and crossbreeding on muscle color in Iberian pigs. *Food Science Technology International*, 6(4):315-321.
- AMSA (1991) Guidelines for meat color evaluation. Proceedings of the reciprocal meat conference Vol.44.
- AMSA (2011) Guidelines: Instrumental Meat Color Measurement. Section VIII-V8.
- AMSA (2011) Equations for Quantification of Myoglobin Redox Forms on Fresh Meat. Section IX-V9.
- Andersen, H. J. & Skibsted, L. H. (1992). Kinetics and mechanism of thermal oxidation and photooxidation of nitrosylmyoglobin in aqueous solution. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 40(10), 1741-1750.

- Andersen, H. J.; Bertelsen, G.; Boegh-Soerensen, L.; Shek, C. K.; Skibsted, L. H. (1988). Effect of light and packaging conditions on the colour stability of sliced ham. *Meat Science*, 22, 283–292.
- Andrés, A.I.; Adamsen, C.; Moller, J.; Skibsted, L. (2004a). High pressure treatment of dry-cured iberian ham. Effect on radical formation, lipid oxidation and colour. *European Food Research and Technology*. Volumen 219 (3), páginas 205-210.
- Andrés, A. I.; Ruiz, J.; Mayoral, A. I.; Tejeda, J. F.; Cava, R. (2000). Influence of rearing conditions and crossbreeding on muscle colour in Iberian pigs. *Food Science and Technology International*, 6, 315–321.
- Andrés, A. I.; Cava, R.; Ventanas, J.; Muriel, E.; Ruiz, J. (2004b). Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salts contents and processing conditions. *Food Chemistry*, 84, 375–381.
- Andrés, A. I., Adamsen, C., Møller, J., Ruiz, J., & Skibsted, L. (2005). High-pressure treatment of dry-cured Iberian ham. Effect on colour and oxidative stability during chill storage packed in modified atmosphere. *European Food Research and Technology*, 222, 486–492.
- Andrés, A.I.; Cava, R.; Mayoral, A.I.; Tejeda, J.F.; Morcuende, D.; Ruiz, J. (2001). Oxidative stability and fatty acid composition of pig muscles as affected by rearing system, crossbreeding and metabolic type of muscle fibre. *Meat Science*, 59, 39-47.
- Ansorena, D.; Astiasarán, I. (2004). Effect of storage and packaging on fatty acid composition and oxidation in dry fermented sausages made with added olive oil and antioxidants. *Meat Science*, 67, 237–244.
- Añón, M. C., & Calvelo, A. (1980). Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Science*, 4(1), 1–14.
- Archer, D.L. (2004). Freezing: an underutilized food safety technology. *International Journal of Food Microbiology*, 90, 127- 138.
- Arnold, R. N., Arp, S. C.; Scheller, K. K.; Williams, S. N.; Schaefer, D. M. (1993). Tissue equilibration and subcellular distribution of vitamin E relative to myoglobin and lipid oxidation in displayed beef. *Journal Animal Science*, 71, 105–118.

- Asensio, M.A.; Ordoñez, J.A. y Sanz B. (1988). Effect of carbon dioxide and oxygen enriched atmospheres on the self-life of refrigerated pork packed in plastics bags. *Journal of Food Protein*. 51(5), 356-360.
- Asghar, A.; Gray, J. I.; Booren, A. M.; Gomaa, E. A.; Abouzied, M. M.; Miller, E. R. (1991). Effects of supranutritional dietary Vitamin E levels on subcellular deposition of alpha-tocopherol in the muscle and on pork quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 57, 31–41.
- Aunan, K. (1992). Effects of ambient air pollution on the health and environment – Air Quality Guidelines.
- Ayuso, F. (2003). El envasado de jamón curado. II world Congress of dry cured ham, 26-28 March 2003, Cáceres, Spain (4th session, 1st communication). Ed. Universidad de Extremadura (CD).
- Ballin, N. Z., & Lametsch, R. (2008). Analytical methods for authentication of fresh vs. thawed meat – A review. *Meat Science*, 80(2), 151–158. Bartkowski, L.; Dryden, F. D. y Marchello, J. A. (1982). Quality changes of beef steaks stored in controlled gas atmosphere containing high or low levels of oxygen. *Journal of Food Protection*, 45(1), 41-45.
- Baron, C.P. & Andersen, H.J. (2002). Myoglobin-induced lipid oxidation. A review. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50, 3887–3897.
- Baron, C. P., Kjærsgård, I. V. H., Jessen, F., & Jacobsen, C. (2007). Protein and lipid oxidation during frozen storage of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 8118-8125.
- Barroso, M.; Careche, M.; Borderías, A.J. (1998). Quality control of frozen fish using rheological techniques. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 223-229.
- Bartkowski, L.; Dryden, F. D.; Marchello, J. A. (1982). Quality changes of beef steaks stored in controlled gas atmospheres containing high or low levels of oxygen. *Journal of Food Protection*, 45(1), 41-45.
- Batifoulier, F.; Mercier, Y.; Gatellier, P.; Renner, M. (2002). Influence of vitamin E on lipid and protein oxidation induced by H₂O₂-activated MetMb in microsomal membranes from turkey muscle. *Meat Science*, 61, 389–395
- Bazán-Lugo, E.; García-Martínez, I.; Alfaro-Rodríguez, R.H.; Totosaus, A. (2012). Color compensation in nitrite-reduced meat batters incorporating paprika or tomato paste. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92 (8), 1627–1632.

- Benito, M.J.; Rodríguez, M.; Córdoba, M.G.; Andrade, M.J.; Córdoba, J.J. (2005). Effect of the fungal protease EPg222 on proteolysis and texture in the dry fermented sausage "salchichón". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 273–280.
- Berchawer, F. (1984). Influence of fatty acid intake on the composition of the backfat in pigs. En *Fat quality in lean pigs*. Ed. J.D. Wood. Commission of the European Communities. Luxemburgo.
- Beriain, M.J. y Lizaso, G. (1997). *Calidad de la carne de vacuno*. Budaxé C. Ed. Mdi-Prensa. Madrid. 493-510.
- Bermúdez, M.E. y Rodríguez, M.M. (2001a). Microbiología de productos cárnicos. En: *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*, Vol. 2, 1549-1560. Editado por Martín Bejarano, Plasencia.
- Berruga, M.I.; Vergara, H.; Gallego, L. (2005). Influence of packaging conditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat. *Small Ruminant Research*, 57, 257–264.
- Berry, B. W. (1990). Changes in quality of all-beef and soy-extended patties as influenced by freezing rate, frozen storage temperature, and storage time. *Journal of Food Science*, 55(4), 893–897.
- Bingol, E.B. & Ergun, O. (2011). Effects of modified atmosphere packaging (MAP) on the microbiological quality and shelf life of ostrich meat. *Meat Science*, 88, 774–785.
- Biswas, A.K.; Keshri, R.C.; Bisht, G.S. (2004). Effect of enrobing and antioxidants on quality characteristics of precooked pork patties under chilled and frozen storage conditions. *Meat Science*, 66, 733–741.
- Blixt, Y; Borch, E. (2002). Comparison of shelf life of vacuum packed pork and beef. *Meat Science*, 60, 371-378.
- B.O.E. (1984). Real Decreto 379/1984, de 25 de enero. Reglamentación técnico-sanitaria de industrias, almacenes al por mayor y envasadores de productos y derivados cárnicos elaborados y de los establecimientos de comercio al por menor de la carne y productos elaborados. *Boletín Oficial del Estado*, 49 (27/02/1984):5273-5280.
- Borch, E.; Kant-Muermans, M. L.; Blixt, Y. (1996). Bacterial spoilage of meat and cured meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 33, 103–120.

- Bórnez, R.; Linares, M.B.; Vergara, H. (2009). Microbial quality and lipid oxidation Of Manchega breed suckling lamb meat: Effect of stunning method and modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 83, 383-389.
- Borrador del Proyecto de Real Decreto / 2013, por el que se aprueba la Norma de Calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña lomo ibéricos. http://issuu.com/cdecomunicacion/docs/borrador_proyecto_norma_calidad_ib31
- Botsoglou, N.A.; Fletouris, D.J.; Florou-Paneri, P.; Christaki, E.; Spais, A.B. (2003). Inhibition of lipid oxidation in long-term frozen stored chicken meat by dietary oregano essential oil and a-tocopheryl acetate supplementation. *Food Research International*, 36, 207–213.
- Bourne, M. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technology*, 32, 7, 62-66.
- Bouton, P. E.; Ford; Harris, P. V. y Ratcliff, D. (1975). Objective assessment of meat juiciness. *Journal of Food Science*, 40(4), 884-885.
- Brewer, M.S., Novakofski, J. & Freise, K. (2006). Instrumental evaluation of pH effects on ability of pork chops to bloom. *Meat Science*, 72, 596–602.
- Brody, A.L. (1996). Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío. Editorial Acribia, S.A.
- Bruce, H. L., Wolfe, F. H., Jones, S. D. M., & Price, M. A. (1996). Porosity in cooked beef for controlled atmosphere packaging is caused by rapid CO₂ gas evolution. *Food Research International*, 29(2), 189–193.
- Bruni, M. (1993). Vitamin E and meat quality. CAB abstracts. *Rivista di Avicoltura*, 62, 15-19.
- Buettner, A., & Schieberle, P. (2000). Exhaled odorant measurement (EXOM) - a new approach to quantify the degree of in-mouth release of food aroma compounds. *LWT - Food Science and Technology*, 33(8), 553-559.
- Cachaldora, A.; García, G.; Lorenzo, J.M.; García-Fontán, M.C. (2013). Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on some quality characteristics and the shelf-life of “*Morcilla*”, a typical cooked blood sausage. *Meat Science*, 93, 220-225.
- Calvelo, A. Recent studies on meat freezing (1981). En *Developments in Meat Science*; Lawrie, R., Ed.; Applied Science Publishers: Englewood, NJ, 1981
- Camo, J.; Beltrán, J.A.; Roncales, P. (2008). Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging. *Meat Science*, 80, 1086–1091.

- Campbell-Platt, G.; Cook, P. E. (1995). *Fermented meats* (1st ed.). London: Chapman & Hall.
- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72, 303–311.
- Cantos, E., Espín, J. C., López-Bote, C., de la Hoz, L., Ordóñez, J. A., & Tomás-Barberán, F. A. (2003). Phenolic compounds and fatty acids from acorns (*Quercus* spp.), the main dietary constituent of free-ranged Iberian pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6248–6255
- Careche, M.; Cofrades, S.; Carballo, J.; Colmenero, F.J. (1998). Emulsifying and gelation properties during freezing and frozen storage of hake, pork, and chicken actomyosins as affected by addition of formaldehyde. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 813-819.
- Carpenter, C.E.; Cornforth, D.P.; Whittier, D. (2001). Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. *Meat Science*, 57, 359-363.
- Carrapiso, A.I.; García, C. (2005). Instrumental colour of Iberian ham subcutaneous fat and lean (biceps femoris): Influence of crossbreeding and rearing system. *Meat Science*, 71, 284-290.
- Carrapiso, A.I.; García, C. (2008). Effect of the Iberian pig line on dry cured ham characteristics. *Meat Science*, 80, 529-534
- Carrapiso, A. I., Ventanas, J., & Garcia, C. (2002). Characterization of the most odor active compounds of Iberian ham headspace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 1996–2000.
- Castro-Giráldez, M.; Fito, P.J.; Toldrá, F.; Fito, P. (2010). Use of visible spectroscopy to assess colour development during ageing of fresh pork from different quality classes. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1710–1716
- Cava, R.; Estévez, M; Ruiz, J.; Morcuende, D. (2003). Physicochemical characteristics of three muscles from free-range reared Iberian pigs slaughtered at 90 kg live weight. *Meat Science*, 63, 533–541.
- Cava, R.; Ladero, L.; González, S.; Carrasco, A.; Ramirez, M.R. (2009). Effect of pressure and holding time on colour, protein and lipid oxidation of sliced dry-cured Iberian ham and loin during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 76–81.

- Chan, J. T. Y., Omana, D. A., & Betti, M. (2011). Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. *Food Chemistry*, 127, 109–117
- Channon, H.A.; Trout, G.R. (2002). Effect of tocopherol concentration on rancidity development during frozen storage of a cured and an uncured processed pork product. *Meat Science*, 62, 9-17.
- Chasco, J.; Lizaso, G.; Beriain, M.J. (1996). Cured Colour Development during Sausage Processing. *Meat Science*, 44 (3), 203-211.
- Chevalier, D.; Sequeira-Munoz, A.; Le Bail, A.; Simpson, B.K.; Ghoul, M. (2001). Effect of freezing conditions and storage on ice crystal and drip volume in turbot (*Scophthalmus maximus*). Evaluation of pressure shift freezing vs. air-blast freezing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1, 193-201.
- Chmiel, M.; Slowinski, M.; Dasiewicz, K. (2011). Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat. *Meat Science*, 88, 566-570.
- Church, P. N. (1993). Meat products. En: R. T. Parry (Ed.), *Principles and applications of modified atmosphere packaging of food* (pp. 229-268). London: Chapman & Hall.
- Church, N. (1994). Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 5, 345–352.
- Cilla, I.; Martínez, L.; Beltrán, J.A.; Roncalés, P. (2006). Dry-cured ham quality and acceptability as affected by the preservation system used for retail sale. *Meat Science*, 73, 581–589.
- Clark, D. S.; Lentz, C. P.; Roth, W. D. (1976). Use of carbon monoxide for extending shelf-life of prepackaged fresh beef. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 9 (3), 114±117.
- Clausen, I. (2004). Sensory evaluation of beef loin steaks stored in different atmospheres. *Proceedings 50th International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 77). 8–13 August 2004, Helsinki, Finland.
- Clydesdale, F. M. (1998). Color: Origin, stability, measurement and quality. En: *Food storage stability*, pp. 175-190. A. T. Irwin & R. P. Singh (Eds.), Florida: CRC Press, Boca Raton.

- Combes, S.; Lepetit, J.; Darche, D.; Lebas, F. (2003). Effect of cooking temperature and cooking time on Warner–Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. *Meat Science*, 66, 91-96
- Cornforth, D. (1994). Color—its basis and importance. In A.M. Pearson, & T. R. Dutson (Eds.), *Quality attributes and their measurements in meat, poultry and fish products* (pp. 34–78). London: Blackie.
- Crawford, D.L. Yu, T.C. y Sinnhuber, R.O. (1967). Reaction of malonaldehyde with protein. *Journal of Food Science*, 32:332-335.
- Cruz, J. (2009). El sector del ibérico atraviesa momentos difíciles por la caída en la demanda y la sobreproducción. *Eurocarne*, nº180: 1-9.
- Cruz, J. (2011). El sector ibérico no mejora su situación pese a la subida del consumo. *Eurocarne*, nº196, 37-44.
- Das, A. K.; Anjaneyulu, A.S.R.; Gadekar, Y.P.; Singh, R.P.; Pragati, H. (2008). Effect of full-fat soy paste and textured soy granules on quality and shelf-life of goat meat nuggets in frozen storage. *Meat Science*, 80, 607–614.
- De Pedro, E. J. (2001). Calidad de las canales y de los productos del cerdo Ibérico: Técnicas de control y criterios de calidad. In Mundi-Prensa Madrid (Ed.), *En Porcino Ibérico: Aspectos claves*. C. Buxadé y A. Daza (Coordinadores) (pp. 589–622). 84-7114-876-5.
- De Santos, F., Rojas, M., Lockhorn, G., & Brewer, M. S. (2007). Effect of carbón monoxide in modified atmosphere packaging, storage time and endpoint cooking temperature on the internal color of enhanced pork. *Meat Science*, 77, 520–528.
- Decker, E. A., Xiong, Y. L., Calvert, J. T., Crum, A. D., & Blanchard, S. P. (1993). Chemical, physical and functional properties of oxidized turkey white muscle myofibrillar proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41, 186–189.
- Devine, C. E., Graham, R. G., Lovatt, S., & Chrystall, B. B. (1995). Chapter 2: Red meats (pp. 51–86). In L. E. Jeremiah (Ed.), *Freezing effects on food quality* (p. 520).
- Devlieghere, F., & Debevere, J. (2000). Influence of dissolved carbon dioxide on the growth of spoilage bacteria. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie-Food Science and Technology*, 33, 531–537.
- Diéguez Garbayo, E. (2000). La raza porcina Ibérica. *Sólo Cerdo Ibérico*, 5, 7-24.

- Dixon, N. M., & Kell, B. (1989). A review. The inhibition by CO₂ of the growth and metabolism of micro-organisms. *Journal of Bacteriology*, 67, 109–136.
- Domínguez Fernández, M. C., & Zumalacárregui Rodríguez, J. M. (1991). Lipolytic and oxidative changes in “Chorizo” during ripening. *Meat Science*, 29, 99–107.
- Dransfield, E. (2008). The taste of fat. *Meat Science*, 80, 37–42
- Draper, H.H., McGirr, L.G. y Hadley, M. (1986). The metabolism of malonaldehyde. *Lipids*, 21:305-308.
- Drosinos, E. H.; Mataragas, M.; Xiraphi, N.; Moschonas, G.; Gaitas, F.; Metaxopoulos, J. (2005). Characterization of the microbial flora from a traditional Greek fermented sausage. *Meat Science*, 69, 307–317.
- Eilert, S.J. (2005). New packaging technologies for de 21st century. *Meat Science*, 71, 122-127.
- Elías, M., & Carrascosa, A. V. (2000). Microbiological and physicochemical aspects of vacuum-packed Iberian ham. effect of processing and slicing methods. *Fleischwirtschaft International*, 2, 36–41.
- Ellman, G. (1959). Tissue sulfhydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 82, 70–77.
- Ercoşkun, H.; Tađi, Ş.; Ertaş, A.H. (2010). The effect of different fermentation intervals on the quality characteristics of heat-treated and traditional sucuks. *Meat Science*, 85, 174-181.
- Esbesen, H. (2002). *Multivariate Data Analysis-in practice*. Aalborg University, Camo Process AS, Esbjerg.
- Esmer, O.K.; Irkin, R.; Degirmencioglu, N.; Degirmencioglu, A. (2011). The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat. *Meat Science*, 88, 221-226.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science*, 89, 259–279.
- Estévez, M.; Cava, R. (2004). Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver paté. *Meat Science*, 68, 551-558

- Estévez, M.; Cava, R. (2006). Effectiveness of rosemary essential oil as an inhibitor of lipid and protein oxidation: Contradictory effects in different types of frankfurters. *Meat Science*, 72, 348–355.
- Estévez, M.; Ventanas, S.; Cava, R. (2007). Oxidation of lipids and proteins in frankfurters with different fatty acid compositions and tocopherol and phenolic contents. *Food Chemistry*, 100, 55-63.
- Estévez, M., Kylli, P., Puolanne, E., Kivikari, R., Heinonen, M. (2008). Oxidation of skeletal muscle myofibrillar proteins in oil-in-water emulsions: interaction with lipids and effect of selected phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 10933–10940.
- Eurocarne Digital (2010a): El ICEX organiza un seminario sobre el comercio de productos ibéricos en Hong Kong. Noticias: 26/08/2010
- Eurocarne Digital (2010b): Covap realiza las primeras previsiones de exportaciones de productos ibéricos a EE.UU. Noticias: 28/04/2010
- European Commission, Scientific Committee on Food. 2001. Opinion of the Scientific Committee on Food on the use of carbon monoxide as a component of packing gases in modified atmosphere packaging for fresh meat. 13 Dic. 2001.
- Evans, J.A. (2008). (Ed). *Frozen Food Science and Technology*. Food Refrigeration and Process Engineering Research Centre (FRPERC). University of Bristol, UK.
- Eymard, S., Baron, C. P., & Jacobsen, C. (2009). Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage. *Food Chemistry*, 114, 57–65.
- Fanco, I.; Prieto, B.; Cruz, J. M.; López, M., Carballo, J. (2002). Study of the biochemical changes during the processing of Androlla, a Spanish dry-cured pork sausage. *Food Chemistry*, 78, 339–345.
- Farber, J. M. (1991). Microbiological aspects of modified-atmospheres packaging technology – A review. *Journal of Food Protection*, 54, 58–70.
- Farouk, M. M.; Swan, J. E. (1998). Effect of rigor temperature and frozen storage on functional properties of hot-boned manufacturing beef. *Meat Science*, 49(2), 233–247.
- Farouk, M. M., & Weliczko, K. J. (2003). Effect of diet and fat content on the functional properties of thawed beef. *Meat science*, 64, 451–458.

- Farouk, M. M.; Wieliczko, K. J.; Merts, I. (2003). Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*, 66(1), 171–179.
- Faustman, C., & Cassens, R. G. (1990). The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. *Journal of Muscle Foods*, 1, 217–243.
- Faustman, C., & Phillips, A. L. (2001). Measurement of discoloration in fresh meat. Ch. F3 Unit F3.3. En: *Current protocols in food analytical chemistry*. New York: Wiley and Sons.
- Faustman, C.; Liebler, D.C.; McClure, T.D.; Sun, Q. (1999). α,β -unsaturated aldehydes accelerate oxymyoglobin oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 3140-3144.
- Faustman, C.; Cassens, R. G.; Schaefer, D. M.; Buege, D. R.; Williams, S. N.; Scheller, K. K. (1989). Improvement of pigment and lipid stability in holstein steer beef by dietary supplementation with vitamin E. *Journal of Food Science*, 54, 858-862.
- Fernández, P. P., Sanz, P. D., Molina-García, A. D., Otero, L., Guignon, B., & Vaudagna, S. R. (2007). Conventional freezing plus high pressure-low temperature treatment: Physical properties, microbial quality, and storage stability of beef meat. *Meat Science*, 77(4), 616–625.
- Fernández, A.; De Pedro, E.; Núñez, N.; Silio, L.; García-Casco, J.; Rodríguez, C. (2003). Genetic parameters for meat and fat quality and carcass composition traits in Iberian pigs. *Meat Science*, 64, 405-410.
- Fernández-Fernández, E.; Vázquez-Odériz, M.L.; Romero-Rodríguez, M.A. (2002). Sensory characteristics of Galician chorizo sausage packed under vacuum and under modified atmospheres. *Meat Science*, 62, 67–71
- Fernández-Fernández, E.; Romero-Rodríguez, M. A.; Vázquez-Odériz, M. L. (2005). Changes in sensory properties of Galician chorizo sausage preserved by freezing, oil-immersion and vacuum-packing. *Meat Science*, 70(2), 223-228.
- Fernández-Fernández, E.; Rozas-Barrero, J.; Romero-Rodríguez, M.A.; Vázquez-Ortiz, M.L. (1997). Changes in the physicochemical properties and organoleptic quality of galician chorizos during curing and after vacuum-packing. *Food Chemistry*, 60 (4), 555-558.
- Fernández-López, J. (1998). Estudio del color por métodos objetivos en sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.

- Fernández-López, J.; Pérez-Álvarez, J.A.; Sayas-Barberá, E.; López-Santoveña, F. (2002). Effect of paprika (*Capsicum annum*) on colour of Spanish-type sausages during the resting stage. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 67, 2410-2414,
- Fernández-López, J., Yelo, A., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2006). Shelf-life of ostrich liver stored under different packaging conditions. *Journal of Food Protection*, 69, 1920–1927.
- Fernández-López, J.; Sayas-Barberá, E.; Muñoz, T.; Sendra, E.; Navarro, C.; Pérez-Álvarez, J.A. (2008). Effect of packaging conditions on shelf-life of ostrich steaks. *Meat Science*, 78, 143-152.
- Filer, L.J., Fomon, S.J., Anderson, T.A., Nixt, T.L., Anderson, D.W. (1974). *Lipids*, 9, 536.
- Filgueras, R.S.; Gatellier, P.; Zambiasi, R.C.; Santé-Lhoutellier, V. (2011). Effect of frozen storage duration and cooking on physical and oxidative changes in *M. Gastrocnemius pars interna* and *M. Iliofiburalis* of rhea *Americana*. *Meat Sciences*, 88, 645-651.
- Filgueras, R.S.; Gatellier, P.; Aubry, L.; Thomas, D.; Bauchart, D.; Durand, D.; Zambiasi, R.C.; Santé-Lhoutellier, V. (2010). Colour, lipid and protein stability of Rhea americana meat during air- and vacuum-packaged storage: Influence of muscle on oxidative processes. *Meat Science*, 86, 665–673.
- Folch, J.; Lees, M.; Sloane Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.
- Formanek, Z.; Kerry, J.P.; Buckley, D.J.; Morrissey, P.A.; Farkas, J. (1998). Effects of Dietary Vitamin E Supplementation and Packaging on the Quality of Minced Beef. *Meat Science*, 50 (2), 203-210.
- Frankel, E. N. (1998). *Lipid oxidation*. Dundee, Scotland: The Oily Press Ltd.
- Fraqueza, M. J., Ferreira, M. C., & Barreto, A. S. (2008). Spoilage of light (PSE-like) and dark turkey meat under aerobic or modified atmosphere package: Microbial indicators and their relationship with total volatile basic nitrogen. *British Poultry Science*, 49, 12–20.
- Frías, S.; Conde, J.E.; Rodríguez-Bencomo, J.J.; Carcía-Montelongo, F.; Pérez-Trujillo, J.P. (2003). Classification of commercial wines from the Canary Islands (Spain) by chemometric techniques using metallic contents. *Talanta*, 59, 335-344.

- Ganhão, R.; Morcuende, D.; Estévez, M. (2010). Protein oxidation in emulsified caged burger patties added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Science*, 85, 402-409.
- García de Fernando, G.D.; Nychas, G.J.E.; Peck, M.W.; Ordoñez, J.A. (1995). Growth/survival of psychrotrophic pathogens on meat packaged under modified atmospheres. *Food Microbiology*, 28, 221-231.
- García-Esteban, M.; Ansorena, D.; Astiasarán, I. (2004). Comparison of modified atmosphere packaging and vacuum packaging for long period storage of dry-cured ham: effects on colour, texture and microbiological quality. *Meat Science*, 67, 57-63.
- García Gimeno, R. M^a; Zurera Cosano, G.; Amaro López, M. (1995). Conservación de los alimentos mediante atmósfera modificada. *Vegetales de IV gama. Alimentaria*. Noviembre 95, 89-104.
- García Iglesias, E.; Gago Cabezas, L.; Fernández Nuevo, J.L. (2006). Informe de vigilancia tecnológica. *Tecnología de envasado en atmósfera protectora*.
- García Rebollo, A.J.; Maciá Botejara, E.; Ortiz Cansado, A.; Morales Blanco, P.J.; Martín Bellido, M.; Fallola Sánchez, A.; Mena Arias, P.; Campillo Álvarez, J.E. (1998). Effects of consumption of meat product rich in monounsaturated fatty acids (the ham from the Iberian pig) on plasma lipids. *Nutrition Research*, 18, 743-750.
- García Rebollo, A.J.; Ortiz Cansado, A.; Maciá Botejara, E.; Morales Blanco, P.J. (1999). Influencia del consumo de jamón ibérico de bellota sobre el perfil lipídico aterogénico. *Sólo Cerdo Ibérico*, N^o2, 107-112.
- Garriga, M.; Marcer, M.; Hugas, M. (1996). Microbiología de la carne fresca y productos cárnicos envasados. *Eurocarne*, 49, 69-73.
- Gavara, R., Catalá, R., & Lagarón, J. M. (2003). Envases para productos cárnicos. *Eurocarne*, 114, 47-58.
- Gee, D. L.; Brown, D. (1978). Extension of shelf life in refrigerated ground beef stored under an atmosphere containing carbon dioxide and carbon monoxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26, 274-276.
- Genot, C. (2000). *Congelación y calidad de la carne*. Editorial Acirbia S.A.

- Georgsson, F.; Porkelsson, A.E.; Geirsdottir, M.; Reiersen, J.; Stern, N.J. (2006). The influence of freezing and duration of storage on *Campylobacter* and indicator bacteria in broiler carcasses. *Food Microbiology*, 23, 677-683.
- Giddey, C. (1966). The change in meat pigments in sausage making processes. *Journal Science of Food Agriculture*, 17, 14-17
- Gill, C. O. (1988). The solubility of carbon dioxide in meat. *Meat Science*, 22, 65–71.
- Gill, C.O.; Newton, K.G. (1979). Spoilage of vacuum-packaged dark, firm, dry meat at chill temperatures. *Applied Environmental Microbiology*, 37, 362-364.
- Gill, C. O.; Molin, G. (1991). Modified atmospheres and vacuum packing. En. N. Y. Russel & G. W. Gould (Eds.), *Food Preservatives* (pp. 172–199). Glasgow: Blackie.
- Gimeno, O.; Astiasarán, I; Bello, J. (2001). Calcium ascorbate as a potential partial substitute for NaCl in dry fermented sausages: effect on colour, texture and hygienic quality at different concentrations. *Meat Science*, 57, 23–29.
- Gimeno, O.; Ansorena, D.; Astiasarán, I.; Bello, J. (2000). Characterization of chorizo de Pamplona: instrumental measurements of colour and texture. *Food Chemistry*, 69, 195-200.
- Gök, V.; Obuz, E.; Akkaya, L. (2008). Effects of packaging method and storage time on the chemical, microbiological, and sensory properties of Turkish pastirma –A dry cured beef product. *Meat Science*, 80, 335–344.
- Gómez, M.; Lorenzo, J.M. (2012). Effect of packaging conditions on shelf-life of fresh foal meat. *Meat Science*, 91, 513–520.
- Gómez Nieves, J.M.; Calero, R.; Marín Sánchez, J. (2005). El cerdo Ibérico y su entorno. En: *Las carnes de Extremadura. El cerdo Ibérico (2ª edición revisada)*. Gómez Nieves J.M. y Robina A. (editores). Junta de Extremadura, Consejería de Sanidad y Consumo, pp 13-25.
- González-Fernández, C.; Santos, E.M.; Rovira, J.; Jaime, I. (2006). The effect of sugar concentration and starter culture on instrumental and sensory textural properties of chorizo-Spanish dry-cured sausage. *Meat Science*, 74, 467–475.
- González-Martín, I.; González-Pérez, C.; Álvarez-García, N.; González-Cabrera, J.M. (2005). On-line determination of fatty acid composition in intramuscular fat of Iberian pork loin by NIRs with a remote reflectance fibre optic probe. *Meat Science*, 69, 243-248.

- Grau, F.H. (1986). Microbial ecology of meat and poultry. In A.M. Pearson y T.R. Dutson (Eds.). *Advances in meat research* (Vol. 2, pp. 1-47). Westport, Connecticut: AVI Publishing Company.
- Grau, A.; Guardiola, F.; Grimpa, S.; Barroeta, A. C.; Codony R. (2001). Oxidative Stability of Dark Chicken Meat Through Frozen Storage: Influence of Dietary Fat and α -Tocopherol and Ascorbic Acid Supplementation. *Poultry Science*, 80,1630-1642.
- Greene, B. E., & Cumuze, T. H. (1981). Relationships between TBA-numbers and inexperienced panellist assessment of oxidized flavor in cooked beef. *Journal of Food Science*, 47, 52–58.
- Grill, H. J.; Flynn, F. W.; Schwartz, G. J. (1987). Taste effects of some amino acids and glutamate compounds in the rat. *Chemical Senses*, 12 (2), 307-322.
- Guardiola, F.; Codony, R.; Rafecas, M. y Boatella, J. (1994). Selective gas chromatographic determination of cholesterol in eggs. *Journal American oil Chemist's Society*, 71 (8), 867-871.
- Guidera, J.; Kerry, J.P.; Buckley, D.J.; Lynch, P.B.; Morrissey, P.A. (1997). The Effect of Dietary Vitamin E Supplementation on the Quality of Fresh and Frozen Lamb Meat. *Meat Science*, 45, 33-43.
- Gutierrez, J.I.; Tejada, J.F.; Carrapiso, A.I.; Petrón, M.J.; Lara, M.S.; Andrés, A.I. (2011). Shelf life of Merino lamb meat retail packaged under atmospheres of various compositions. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 492-499.
- Hamza, M. A.; Moharram, Y. G.; Aman, M. B.; El-Akary, M. O. (1987). Frozen Storage Stability of Beefburger Containing Plant Meat Substitutes. *Food Chemistry*, 26, 261-269
- Hansen, E.; Juncher, D.; Henckel, P.; Karlsson, A. (2004a). Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage. *Meat Science*, 68, 479-484.
- Hansen, E.; Lauridsen, L.; Skibsted, L.H.; Moawad, R.K.; Andersen, M.L. (2004b). Oxidative stability of frozen pork patties: Effect of fluctuating temperature on lipid oxidation. *Meat Science*, 68, 185–191.
- Harms, C.; Fuhrmann, H.; Nowak, B.; Wenzel, S.; Sallmann, H.P. (2003). Effect of dietary vitamin E supplementation on the shelf life of cured pork sausage. *Meat Science*, 63,101–105.

- He, H.; Rodriguez-Soana, L.E.; Giusti, M.M. (2007). Midinfrared spectroscopy for juice authentication-rapid differentiation of commercial juices. *Journal of Agricultural Science of Food and Agriculture*, 76, 263-269.
- Holzappel, W. H.; Guisen, R.; Schillinger, U. (1995). Biological preservation of foods with reference to protective cultures, bacteriocins and food-grade enzymes. *International Journal of Food Microbiology*, 24, 343–362.
- Honikel, K.O. (1997). Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. *Food Chemistry*, 59-4, 573-582.
- Hugas, M., & Monfort, J. M. (1997). Bacterial starter cultures for meat fermentation. *Food Chemistry*, 59 (4), 547–554.
- Hugas, M., Garriga, M., Arnau, J., & Roca, M. (1987). Part II: El envasado del jamón curado, efecto de diferentes atmósferas de gases sobre el jamón curado envasado. In J. Arnau, M. Hugas, & J. M. Monfort (Eds.), *Jamón curado: Aspectos técnicos* (pp. 7–90). Barcelona: Institut de Recerca I Tecnologia Agroalimentaries.
- Hunt, M.C. (1980). Meat color measurement. En *Proceedings 33rd Annual Reciprocal Meat Conference*, 22–25 June 1980 (pp. 41–46), Indiana, USA.
- Hunt, M.C.; Mancini, R.A.; Hachmeister, K.A.; Kropf, D.H.; Merriman, M.; Del Duca, G.; Milliken, G. (2004). Carbon Monoxide in Modified Atmosphere Packaging Affects Color, Shelf Life, and Microorganisms of Beef Steaks and Ground Beef. *Journal of Food Science*, 69 (1), 45-52.
- Hunt, M.C.; Acton, J.C.; Benedict, R.C.; Calkins, C.R.; Comforth, D.P.; Jeremiah, L.E.; Olson, D.P.; Salm, C.P.; Savell, J.N.; Shivas, S.D. (1991). *Guidelines for meat colour evaluation*. National Live Stock and Meat Board, AMSA, Chicago.
- Hutton T (2003). *Key topics in food science and technology. Food packaging: an introduction*. Campden & Chorleywood Food Research Association Group Gloucestershire.
- Insausti, K., Beriain, M.J., Purroy, A., Alberti, P., Gorraiz, C., Alzueta, M.J., 2001. Shelf life of beef from local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Science*, (57), 273–281.
- ISO 4833:1991 Microbiology- General guidance for the enumeration of micro-organisms - Colony count technique at 30 degrees C. Revised by: [ISO 4833:2003](#)

ISO 6579:1993 Microbiology- General guidance on methods for the detection of Salmonella. Revised by: [ISO 6579:2002](#)

Jakobsen, M., & Bertelsen, G. (2000). Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a surface response model for predicting the effects of temperature, storage time and modified atmosphere composition. *Meat Science*, 54, 49–57.

Janero, D. R. (1990). Malonaldehyde and thiobarbituric acid reactivity as diagnostics indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. *Free Radicals and Biological Medicine*, 9, 515–540.

Javanmard, M.; Rokni, N.; Bokaie, S.; Shahhosseini, G. (2006). Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. *Food Control*, 17, 469–473.

Jensen, C., Skibsted, L. H., & Bertelsen, G. (1998a). Oxidative stability of frozen-stored raw pork chops, chill-stored pre-frozen raw pork chops, and frozen-stored pre-cooked sausages in relation to dietary CuSO₄, rapeseed oil and vitamin E. *European Food Research and Technology*, 207, 363–368.

Jensen, C.; Lauridsen, C.; Bertelsen, G. (1998b). Dietary vitamin E: Quality and storage stability of pork and poultry. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 62-72.

Jeong, J.Y.; Claus, J.R. (2010). Color stability and reversion in carbon monoxide packaged ground beef. *Meat Science*, 85, 525-530

Jeong, J-Y.; Kim, G-D.; Yang, H-S.; Joo, S-T. (2011). Effect of freeze–thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef semimembranosus muscle. *Food Research International*, 44, 3222–3228

Jeremiah, L.E., 2001. Packaging alternatives to deliver fresh meats using short- or long-term distribution. *Food Research International*, 34, 749–772.

Jiang, Q.; Christen, S.; Shigenaga, M. K.; Ames, B. N. (2001). Gamma-Tocopherol, the major form of vitamin E in the US diet, deserves more attention. *American Journal of Clinical Nutrition*, 74(6), 714–722.

Johansson G., Tornberg, E. & Lundström K. (1991). Meat colour in loin and ham muscles of normal meat quality from Hampshire, Swedish Landrace and Yorkshire pigs. In: *Proceedings of 37th International Congress of Meat Science and Technology*. September 1991. Kulmach, Germany, pp.394-398.

- Jongberg, S.; Skov, S. H.; Tørngren, M. A.; Skibsted, L. H.; Lund, M. N. (2011). Effect of white grape extract and modified atmosphere packaging on lipid and protein oxidation in chill stored beef patties. *Food Chemistry*, 128, 276–283.
- Juncher, D., Rønn, B., Mortensen, E. T., Henckel, P., Karlsson, A., Skibsted, L. H. (2001). Effect of pre-slaughter physiological conditions on the oxidative stability of color and lipid oxidation during chill storage of pork. *Meat science*, 58, 347–357.
- Kamenik J.; Salakova A.; Bořilova G.; Pavlik Z.; Standarova E.; Steinhauser L. (2012). Effect of storage temperature on the quality of dry fermented sausage Poličan. *Czech Journal of Food Sciences*, 30 (4), 293-302.
- Keeton, J.T. (1994). Low-Fat Meat Products Technological Problems with Processing. *Meat Science*, 36, 261-276
- Kennedy, C.; Buckley, D.J.; Kerry, J.-P. (2004). Display life of sheep meats retail packaged under atmospheres of various volumes and compositions. *Meat Science*, 68, 649-658.
- King, A.J.; Uijttenboogaart, T.G.; Vries, A.W. (1995). α -Tocopherol, β -Carotene and Ascorbic Acid as Antioxidants in Stored Poultry Muscle. *Journal of Food Science*, 60 (5), 1009-1012.
- Knut Framstad, DVM, PH; D. Guy Nolet (2006). Envasado con CO: una nueva tecnología envasado sin oxígeno para a industria cárnica de la Unión Europea. *Eurocarne N° 143*, pp. 1-4.
- Koohmaraie, M., Kent, M. P., Shackelford, S. D., Veiseth, E., Wheeler, T. L. (2002). Meat tenderness and muscle growth: Is there any relationship? *Meat Science*, 62, 345–352.
- Krause, T. R., Sebranek, J. G., Rust, R. E., & Honeyman, M. S. (2003). Use of carbon monoxide packaging for improving the shelf life of pork. *Journal of Food Science*, 68, 2596–2603.
- Kropf, D. H. (1980). Effects of retail display conditions on meat color. *Proceedings of the Reciprocal Meat Conference*, 33, 15–32.
- Kropf, D. H. (2003). Enhancing meat color stability. In *Proceedings of the 56th reciprocal meat conference* (pp. 73–75), 15–18 June, Columbia, MO, USA.

- Kropf, D. H. (2004). Modified and controlled atmosphere. In W. K. Jensen, C. Devine, M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of meat science* (pp. 962–969). Oxford, UK: Elsevier Academic Press.
- Kuo, C. C., & Chu, C. Y. (2003). Quality characteristics of Chinese sausages made from PSE pork. *Meat Science*, 64, 441–449.
- Kusmider, E. A.; Sebranek, J. G.; Lonergan, S. M.; Honeyman, M. S. (2002). Effects of carbon monoxide packaging on color and lipid stability of irradiated ground beef. *Journal of Food Science*, 67, 3463–3468.
- Lagersted, A., Enfält, L., Jihansson, L., Lundström, K. (2008). Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef M. Longissimus dorsi. *Meat Science*, 80, 457–461.
- Lagerstedt, A.; Lundström, K.; Lindahl, G. (2011). Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef M. longissimus dorsi steaks after different ageing times. *Meat Science*, 87, 101-106.
- Lagerstedt, Å.; Edblad, U.; Wretström, S.; Enfält, L.; Johansson, L.; Lundström, K. (2007). Minced meat packed in high-oxygen modified atmosphere- effects on sensory quality and oxidation products. In *Proceedings 53rd international congress of meat science and technology* (pp. 515–516), 5–10 August 2007, Beijing, China.
- Lanari, M.C.; Schaefer, D. M.; Scheller, K.K. (1995). Dietary Vitamin E Supplementation and Discoloration of Pork Bone and Muscle Following Modified Atmosphere Packaging. *Meat Science*, 41, 237-250.
- Lauzurica, S.; De la Fuente, J.; Díaz, M.T.; Álvarez, I.; Pérez, C.; Caneque, V. (2005). Effect of dietary supplementation of vitamin E on characteristics of lamb meat packed under modified atmosphere. *Meat Science*, 70, 639–646.
- Lawrie, R. A. (1991). *The eating quality of meat*. Pergamon Press. Oxford (UK).
- Lepetit, J. & Culioli, J. (1994). Mechanical properties of meat. *Meat Science*, 36, 203-237.
- Ledward, D. A. (1992). Colour of raw and cooked meat. In D. E. Johnston, M. Knight, & D. A. Ledward, *The chemistry of muscle based foods* (pp. 128–144). Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.
- Leygonie, C., Britz, T.J.; Hoffman, L.C. (2011). Oxidative stability of previously frozen ostrich Muscularis iliofibularis packaged under different modified atmospheric conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 46, 1171-1178.

- Leygonie, C.; Britz, T.J.; Hoffman, L.C. (2012a). Meat Quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich *M. iliofibularis*. *Meat Science*, 91, 364-368.
- Leygonie, C.; Britz, T.J.; Hoffman, L.C. (2012b). Impact of Freezing and Thawing on the Quality of Meat: Review. *Meat Science*, 91, 93-98.
- Levine, R. L., Garland, D., Oliver, C. N., Amici, A., Climent, I., Lenz, A. G. (1990). Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Method in Enzymology*, 186, 464–477.
- Li, X.; Lindahl, G.; Zamaratskaia, G.; Lundström, K. (2012). Influence of vacuum skin packaging on color stability of beef longissimus lumborum compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 92, 604-609.
- Liaros N.G.; Katsanidis, E.; Bloukas, J.G. (2009). Effect of the ripening time under vacuum and packaging film permeability on processing and quality characteristics of low-fat fermented sausages. *Meat Science*, 83, 589–598.
- Linares, M.B. & Vergara, H. (2012). Effect of gas stunning and modified-atmosphere packaging on the quality of meat from Spanish Manchego light lamb. *Small Ruminant Research*, 108, 87– 94.
- Linares, M. B., Berruga, M. I., Bórnez, R., & Vergara, H. (2007). Lipid oxidation in lamb meat: Effect of weight, handling previous slaughter and modified atmospheres. *Meat Science*, 76, 715–720.
- Lindahl, G. (2005). Colour Characteristics of Fresh Pork. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Lindahl, G.; Lundström, K.; Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*, 59, 141–151.
- 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*, 85, 160-166
- Liu, G., & Xiong, Y. L. (1996). Contribution of lipid and protein oxidation to rheological differences between chicken white and red muscle myofibrillar proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 779–784.

- Liu, Y.; Chen, Y. R. (2001). Analysis of visible reflectance spectra of stored, cooked and diseased chicken meats. *Meat Science*, 58, 395-401.
- Liu, Q.; Scheeller, K. K.; Arp, S. C.; Schaefer, D. M.; Williams, S. N. (1996). Titration of fresh meat color stability and malonaldehyde development with Holstein steers fed vitamin E-supplemented diets. *Journal of Animal Science*, 74(1), 117–126.
- López-Bote, C.J. (1998). Sustained Utilization of the Iberian Pig Breed. *Meat Science*, 49, S17-S27.
- Lores, A., Roncalés, P. (2009). Estudio del color de nitrificación de un producto curado. INTRARED.
- Lücke, F. K. (1985). In *Microbiology of Fermented Food*, Vol. 2, ed. B. J. B. Wood. Elsevier Applied Science, London, p. 41.
- Lücke, F.K.; Vogeley, I. (2012). Traditional 'air-dried' fermented sausages from Central Germany. *Food Microbiology*, 29, 242-246
- Lund, B.M. (2000). Freezing. In: Lund, B.M., Baird Parker, T.C., Gould, G.W. (Eds.), *The Microbiological Safety and Quality of Food*, vol. I. Aspen Publishers, Gaithersburg, MD, pp. 122–145.
- Lund, M. N., Hviid, M. S., & Skibsted, L. H. (2007a). The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation in beef patties during chill storage. *Meat Science*, 76, 226–233.
- Lund, M.N; Lametsch ,R.; Hviid, M.S.; Jensen, O.N. (2007b). High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage. *Meat Science*, 77, 295-303.
- Lund, M. N.; Heinonen, M.; Baron, C.P.; Estévez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55, 83-95.
- Lund, M. N., Christensen, M., Fregil, L., Hviid, M. S., & Skibsted, L. H. (2008). Effect of high-oxygen atmosphere packaging on mechanical properties of single muscle fibres from bovine and porcine longissimus dorsi. *European Food Research and Technology*, 227, 1323–1328.
- Luño, M., Beltrán, J. A., & Roncalés, P. (1998). Shelf-life extension and colour stabilisation of beef packaged in a low O₂ atmosphere containing CO: Loin steaks and ground meat. *Meat Science*, 48, 75–84.

- Luño, M., Roncalés, P., Djenane, D.; Beltrán, J. A. (2000). Beef shelf life in low O₂ and high CO₂ atmospheres containing different low CO concentrations. *Meat Science*, 55, 413–419.
- Maciá Botejara, E.; García Domínguez, M.; Ortiz Cansado, A.; García Rebollo, J.; Mena Arias, P.; Morales Blanco, P.; Bigeriego, M.; Cubo, S.; Perea, V. (2005a). Consumo de cerdo ibérico y factores de riesgo aterotrombótico. Estudio en una población cerrada. *Nutrición Hospitalaria*, Volumen XX, 210.
- Maciá Botejara, E.; Ortiz Cansado, A.; García Rebollo, J.; García Domínguez, M.; Morales Blanco, P.; González, S.; Benito Hernández, J. (2005b). Dieta Rica en ácido oleico procedente de jamón ibérico de bellota frente a una dieta rica en ácidos grasos poliinsaturados Omega-3 y Omega-6. Efecto sobre el perfil lipídico en una población hipercolesterolémica. *Nutrición Hospitalaria*, Volumen XX, 135-136.
- MARM (2011). El sector de la carne en cifras. Principales indicadores económicos en 2011. Subdirección General de Productos Agroganaderos.
- Mancini, R.A. y Hunt, M.C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.
- 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*, 64, 157–162.
- Mancini, R. A.; Suman, S.P.; Konda, M.K.R.; Ramanathan, R. (2009). Effect of carbon monoxide packaging and lactate enhancement on the color stability of beef steaks stored at 1 °C for 9 days. *Meat Science*, 81, 71–76.
- Martín Juárez, B. (2005). Estudio de las comunidades microbianas de embutidos fermentados ligeramente acidificados mediante técnicas moleculares. Estandarización, seguridad y mejora tecnológica. Tesis Doctoral. Universitat de Girona.
- Martín-Peña, G.; Carnicero, M.; Ruiz Galiana J.(1992) El cerdo ibérico: Un animal con grasa de alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados. *Nutrición Hospitalaria*, 5, 329-332.

- Martín-Sánchez, A.M.; Sánchez-Zapata, E.; Viuda-Martos, M.; Sendra, E.; Sayas-Barberá, E.; Fernández-López, J.; Pérez-Álvarez, J.A; Chaves-López, C. (2010). Influence of sorbate addition on the reflectance ratios R650/R570, R560/R500 y R630/R580 in dry-cured meat products. *Óptica pura y aplicada. Sección Especial: IX Congreso Nacional del Color.*
- Martínez, L.; Djenane, D.; Cilla, I.; Beltrán, J.A.; Roncalés, P. (2005). Effect of different concentrations of carbon dioxide and low concentration of carbon monoxide on the shelf-life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere. *Meat Science*, 71, 563–570
- Martinez, L., Djenane, D., Cilla, I., Beltran, J. A., & Roncales, P. (2006). Effect of varying oxygen concentrations on the shelf-life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere. *Food Chemistry*, 94, 219–225.
- Martino, M. N., Otero, L., Sanz, P. D., & Zaritzky, N. E. (1998). Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. *Meat Science*, 50(3), 303–313.
- Mateo, J.; Dominguez, M. C.; Aguirrezábal, M. M.; Zumalacárregui, J.M. (1996). Taste compounds in Chorizo and their changes during ripening. *Meat Science*, 44 (4), 245-254
- Mayoral, A.I.; Guillén, M.T.; Vivo, J.M.; Robina, A. (2003). Las piezas cárnicas del cerdo Ibérico. En: Especial “Sólo Cerdo Ibérico”, Tomo I, pp 155-169. Aeceriber, 2010.
- Mayoral, A.I.; Guillén, M.T.; Vivo, J.M.; Robina, A. (2005). Anatomía aplicada de la carnización del cerdo ibérico. En: Las carnes de Extremadura. El cerdo ibérico. Gómez-Nieves, J.M y Robina, A. (editores). Junta de Extremadura. pp 41-73.
- McMillin, K.W. (1993). Dynamic gas exchange of modified atmosphere packaging of fresh meat. Conference proceedings. Pack Alimentaire, Session C-1, Chicago.
- McMillin, K.W. (2008). Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80, 43–65.
- Mercier, Y.; Gatellier, P.; Renerre, M. (1995). Relationships between lipid and protein oxidation in different beef muscles. En: Proceedings of the 41st ICoMST (pp. 562–564). San Antonio, USA
- Mercier, Y., Gatellier, P., Viau, M., Remignon, H., & Renerre, M. (1998). Effect of fat and vitamin E on colour stability and lipid and protein oxidation in turkey meat during storage. *Meat Science*, 48, 301–318.

- Meza-Márquez, O.G., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G. (2010). Application of mid-infrared spectroscopy with multivariate analysis and soft independent modeling of class analogies (SIMCA) for the detection of adulterants in minced beef. *Meat Science*, 86, 511-519.
- Millar, S. J.; Moss, B. W.; Stevenson, M. H. (1996). Some observations on the absorption spectra of various myoglobin derivatives found in meat. *Meat Science*, 42, 277-289.
- Møller, J. K. S.; Adamsen, C. E.; Skibsted, L. H. (2003). Spectral characterisation of red pigment in Italian-type dry-cured ham. Increasing lipophilicity during processing and maturation. *European Food Research and Technology*, 216, 290–296. *Oxford Dictionary & Thesaurus III* (2001). Oxford.
- Møller, J. K. S.; Nannerup, L.; Skibsted, L. H. (2005). Effect of carbon dioxide on autoxidation and photooxidation of nitrosylmyoglobin. *Meat Science*, 69, 71–78.
- Møller, J. K. S., Jensen, J. S., Olsen, M. B., Skibsted, L. H., & Bertelsen, G. (2000). Effect of residual oxygen on colour stability during chill storage of sliced, pasteurized ham packaged in modified atmosphere. *Meat Science*, 54, 399–405.
- Monahan, F. J.; Buckley, D. J.; Morrissey, P. A.; Lynch, P. B.; Gray, J. I. (1992) Influence of dietary fat and α -tocopherol supplementation on lipid oxidation in pork. *Meat Science* 31, 229-241.
- Monahan, F. J.; Buckley, D. J.; Gray, J. I.; Morrissey, P. A.; Asghar, A.; Hanrahan T. J.; Lynch, P. B. (1990). Effect of Dietary Vitamin E on the Stability of Raw and Cooked Pork. *Meat Science*, 27, 99-108.
- Monin, G.; Marinova, P.; Talmant, A.; Martin, J. F.; Cornet, M.; Lanore, D.; Grasso, F. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne Hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat Science*, 47(1/2), 29–47.
- Moore, V. J., & Young, O. A. (1991). The effects of electrical stimulation, thawing, ageing and packaging on the colour and display life of lamb chops. *Meat Science*, 30(2), 131–145.
- Morcuende, D.; Estévez, M.; Ruiz, J.; Cava, R. (2003). Oxidative and lipolytic deterioration of different muscles from free-range reared Iberian pigs under refrigerated storage. *Meat Science*, 65, 1157–1164.

- Morrissey, F.A.; Buckley D.J.; Sisk, H.; Lynch, F.B. y Sheehy, F.J.A. (1996). Uptake of tocopherol in Porcine Plasma and Tissues. *Meat Science*, 44, 275-283.
- Morrissey, P. A., Sheehy, P. J. A., Galvin, K., Kerry, J. P., & Buckley, D. J. (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*, 49, 73–86.
- Mortensen, M.; Andersen, H.J.; Elgensen, S.B.; Bertram, H.C. (2006). Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities. *Meat Science*, 72, 34-42.
- Mourot, J., & Hermier, D. (2001). Lipids in monogastric animal meat. *Reproduction, Nutrition Development*, 41, 109–118.
- Muela, E.; Sañudo, C.; Campo, M.M.; Medel, I.; Beltran, J.A. (2010). Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. *Meat Science*, 84, 662–669.
- Muela, E.; Sañudo, C.; Campo, M.M.; Medel, I.; Beltran, J.A. (2012). Effect of freezing method and frozen storage duration on lamb sensory quality. *Meat Science*, 90, 209–215.
- Muriel, E.; Ruiz, J.; Ventanas, J.; Petró, M.J.; Antequera, T. (2004). Meat quality characteristics in different lines of Iberian pigs. *Meat Science*, 67, 299-307.
- Muguerza, E.; Fista, G.; Ansorena, D.; Astiasarán, I.; Bloukas, J. G. (2002). Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. *Meat Science*, 61, 397– 404.
- Muguerza, E., Gimeno, O.; Ansorena, D.; Bloukas, J.G.; Astiasara´ n, I. (2001). Effect of replacing pork backfat with pre-emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of chorizo de Pamplona, a traditional Spanish fermented sausage. *Meat Science*, 59, 251–258.
- Navarro, J. L.; Nadal, M. I.; Izquierdo, L.; Flores, J. (1997). Lipolysis in dry cured sausages as affected by processing conditions. *Meat Science*, 45, 161–168.
- Ngapo, T.M.; Babare, I.H.; Reynolds, J.; Mawson, R.F. (1999). Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork. *Meat Science*, 53, 149-158.
- Nottingham, P.M. (1982). Microbiology of carcass meats. In M.H. Brown (Ed.). *Meat microbiology* (pp. 13-65). London: Applied Science Publishers.

- Nowak, B.; Von Mueffling, T.; Grotheer, J.; Klein, G.; Watkinson, B.M. (2007). Energy content, sensory properties, and microbiological shelf life of German bologna-type sausages produced with citrate or phosphate and with inulin as fat replacer. *Journal of Food Science*, 72(9), S629–S638.
- O'Grady, M.N., Monahan, F.J., Burke, R.M., Allen, P., 2000. The effect of oxygen level and exogenous α -tocopherol on the oxidative stability of minced beef in modified atmosphere packs. *Meat Science*, (55), 39–45.
- Okabe, Y.; Watanabea, A.; Shingua, H.; Kushibikia, S.; Hodate, K.; Ishidab, M.; Ikedab, S.; Takeda, T. (2002). Effects of α -tocopherol level in raw venison on lipid oxidation and volatiles during storage. *Meat Science*, 62, 457-462.
- Onega Pagador, M.E. (2003). Evaluación de la calidad de carnes frescas: Aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Ordóñez, J.A.; Hierro, E.M.; Bruna, J.M.; De la Hoz, L. (1999). Changes in the Components of Dry-Fermented Sausages during Ripening. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39(4), 329–367.
- Ouattara, B.; Simard, R. E.; Holley, R. A.; Piette, G. J.-P.; Bégin, A. (1997). Antibacterial activity of selected fatty acids and essential oils against six meat spoilage organisms. *International Journal of Food Microbiology*, 37, 155–162.
- Palombo, R.; Wijngaards, G. (1990). Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Science*, 28, 61-76
- Park, S.Y.; Yoo, S.S.; Uh, J.H.; Eun, J.B.; Lee, H.C.; Kim, Y.J.; Chin, K.B. (2007). Evaluation of Lipid Oxidation and Oxidative Products as Affected by Pork Meat Cut, Packaging Method, and Storage Time during Frozen Storage ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). *Journal of Food Science*, 72 (2), 114-119.
- Parra, V.; Viguera, J.; Sánchez, J.; Peinado, J.; Espárrago, F.; Gutierrez, J.I.; Andrés, A.I. (2012). Effect of exposure to light on physico-chemical quality attributes of sliced dry-cured Iberian ham under different packaging systems. *Meat Science*, 90, 236–243.
- Parra, V.; Viguera, J.; Sánchez, J.; Peinado, J.; Espárrago, F.; Gutierrez, J.I.; Andrés, A.I. (2010). Modified atmosphere packaging and vacuum packaging for long period chilled storage of dry-cured Iberian ham. *Meat Science*, 84, 760-768.

- Parry, R.T. (1995) Introducción. En: Envasado de alimentos en atmósferas modificadas. R.T. Parry (Ed.), pág. 13-31. A. Madrid Vicente, Ediciones, Madrid, España.
- Patsias, A.; Badeka, A. V.; Savvaidis, I. N.; Kontominas, M. G. (2008). Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets. *Food Microbiology*, 25, 575–581.
- Pearson, A. M.; J. I. Miller. (1950). The influence of rate of freezing and length of freezer storage upon the quality of beef of known origins. *Journal of Animal Science*, 9, 13–19.
- Pérez-Álvarez, J.A.; Fernández-López, J.; Sayas-Barbera, M.E.; Cartagena-Gracia, R. (1998). Description of color parameters of the different raw material used in the meat industry. *Eurocarne*, 63, 115- 122.
- Pérez-Álvarez, J.A.; Sánchez-Rodríguez, E.; Fernandez-López, J.; Gago-Gago, M.A.; Ruiz-Peluffo, C.; Rosmini, M.; Pagán-Moreno, J.; López-Santovenia, F.; Aranda-Catalá, V. (1997). Chemical and color characteristics of “Lomo Embuchado” during salting seasoning. *Journal of Muscle Foods*, 8, 395-411
- Pérez Mateos, M. y Borderias, A.J. (1997). Nuevas tecnologías destinadas a prolongar el tiempo de conservación de los productos pesqueros refrigerados. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 1, 79-84.
- Petersen J.S (1996). Muscle functional traits and meat quality as influenced by regular exercise training and spontaneous activity in pigs. PhD Thesis. The Royal Veterinary and Agricultural University Department of Anatomy and Physiology, Copenhagen, D.K.
- Pfalzgraf, A.; Frigg, M.; Steinhart, H. (1995). Alpha-Tocopherol Contents and Lipid Oxidation in Pork Muscle and Adipose Tissue during Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43,1339-1342.
- Pietrasik, Z; Janz, J.A.M. (2009). Influence of freezing and thawing on the hydration characteristics, quality, and consumer acceptance of whole muscle beef injected with solutions of salt and phosphate. *Meat Science*, 81, 523-532.
- Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., Zayas, J. F., Unruh, J. A. (1997). Effects of Ultrasound and Convection Cooking to Different End Point Temperatures on Cooking Characteristics, Shear Force and Sensory Properties, Composition, and Microscopic Morphology of Beef Longissimus and Pectoralis Muscles. *Journal of Animal Science*, 1997, 75, 386-401.

- Rahelic, S.; Puac, S. (1985). Structure of beef Longissimus dorsi muscle frozen at various temperatures: Part 1-Histological changes in muscle frozen at -10, -22, -33, -78, -115 and -196 °C. *Meat Science*, 14, 63–72.
- Rakić, S., Povrenović, D., Tešević, V., Simić, M., & Maletić, R. (2006). Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. *Journal of Food Engineering*, 74, 416–423.
- Ramanathan, R.; Mancini, M.A.; Naveena, B.M.; Konda, M.K.R. (2010). Effects of lactate-enhancement on surface reflectance and absorbance properties of beef longissimus steaks. *Meat Science*, 84, 219–226.
- Ramírez, R.; Cava, R. (2007). Carcass composition and meat quality of three different Iberian x Duroc genotype pigs. *Meat Science*, 75, 388-396.
- Renerre, M. (1990). Review: Factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 613–630.
- Renerre, M. (2000). Review: Biochemical basis of fresh meat color. *Proceedings of the 45th International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 344–352). Yokohama, Japan.
- Renerre, M., Poncet, K., Mercier, Y., Gatellier, Ph., & Metro, B. (1999). Influence of dietary fat and vitamin E on antioxidant status of muscles of turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 237–244.
- Rey, A. I., Daza, A., López-Carrasco, C., & López-Bote, C. J. (2006). Feeding Iberian pigs with acorns and grass in either free-range or confinement affects the carcass characteristics and fatty acids and tocopherols accumulation in Longissimus dorsi muscle and backfat. *Meat Science*, 73, 66–74.
- Richardson, I. (2003). Case ready Red Meat Packaging Technology. *Brasil Journal of Food Technology, Especial Issue*. En: *Proceedings of the 49th international congress of meat science and technology*, 1-5 September 2003, Campinas, Brazil (pp. 148–155).
- Rodríguez Giro, M. (1998). Envasado de alimentos bajo atmósfera protectora. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 5, 87-92.

- Roncalés, F.; Geesink, G.H.; Van Laack, R.L.J.M.; Jaime, I.; Beltrán, J.L.; Barnier, V.M.H. *y col.* (1995). Meat tenderisation: enzymatic mechanisms En: A. Ouali, D.I. Demeyer, F.J.M. Smulders (Eds.), Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality, ECCEAMST, Utrecht, The Netherlands, pp. 311–332
- Rowe, L. J.; Maddock, K. R.; Lonergan, S. M.; Huff-Lonergan, E. (2004). Influence of early post-mortem protein oxidation on beef quality. *Journal of Animal Science*, 82, 785–793.
- Rubio, B.; Martínez, B.; García-Cachán, M.D.; Rovira, J.; Jaime, I. (2008). Effect of the packaging method and the storage time on lipid oxidation and colour stability on dry fermented sausage salchichón manufactured with raw material with a high level of mono and polyunsaturated fatty acids. *Meat Science*, 80, 1182-1187.
- Rubio, B.; Martínez, B.; González-Fernández, C.; García-Cachán, M.D.; Rovira, J.; Jaime, I. (2006). Influence of storage period and packaging method on sliced dry cured beef “Cecina de León”: Effects on microbiological, physicochemical and sensory quality. *Meat Science*, 74, 710-717.
- Rubio, B.; Martínez, B.; González-Fernández, C.; García-Cachán, M.D.; Rovira, J.; Jaime, I. (2007a). Effect of modified atmosphere packaging on the microbiological and sensory quality on a dry cured beef product: “Cecina de León”. *Meat Science*, 75, 515–522.
- Rubio, B.; Martínez, B.; Sánchez, M.J.; García-Cachán, M.D.; Rovira, J.; Jaime, I. (2007b). Study of the shelf life of a dry fermented sausage “salchichon” made from raw material enriched in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids and stored under modified atmospheres. *Meat Science*, 76, 128–137.
- Ruiz, J.; Muriel, E.; Antequera, T. (2005). Calidad de la carne de cerdo ibérico. En: Las carnes de Extremadura. El cerdo ibérico. Gómez-Nieves, J.M y Robina, A. (editores). Junta de Extremadura. pp 75-90.
- Ruiz, J., Muriel, E., Pérez-Palacios, T., & Antequera, T. (2009). Analysis of phospholipids in muscle food. In L. M. L. Nollet & F. Toldrá (Eds.). *Handbook of muscle food analysis*, edition 1 (Vol. 1, pp. 167–186). London: CRC Press.
- Ruiz-Capillas, C., Jimenez-Colmenero, F. (2004). Biogenic amine content in Spanish retail market meat products treated with protective atmosphere and high pressure. *European Food Research and Technology*, 218, 237-241.

- Ruiz-Capillas, C.; Jiménez-Colmenero, F. (2010). Effect of an argón-containing packaging atmosphere on the quality of fresh pork sausages during refrigerated storage. *Food Control*, 21, 1331-1337.
- Ruiz-Capillas, C.; Triki, M.; Herrero, A.M.; Rodriguez-Salas, L.; Jiménez-Colmenero, F. (2012). Konjac gel as pork backfat replacer in dry fermented sausages: Processing and quality characteristics. *Meat Science*, 92, 144–150.
- Ruiz de Huidobro, F., Cañeque, V., Lauzurica, S., Velasco, S., Pérez, C., & Onega, E. (2001). Sensory characterization of meat texture in sucking lambs. *Methodology. Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales*, 16(2), 223–234.
- Sahoo, J., & Anjaneyulu, A. S. R. (1995). Modified atmosphere packaging of muscle foods: Technology, shelf-life and safety aspects. *Indian Food Industry*, 14(3), 28–36.
- Sakata, R.; Oshida, T.; Morita, H.; Nagata, Y. (1995). Physico-Chemical and Processing Quality of Porcine *M. longissimus dorsi* Frozen at Different Temperatures. *Meat Science*, 39, 277-284.
- Salazar, P.; García, M.L.; Selgas, M.D. (2009). Short-chain fructooligosaccharides as potential functional ingredient in dry fermented sausages with different fat levels. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1100-1107.
- Santos, E.M.; Diez, A.M.; González-Fernández, C.; Jaime, I.; Rovira, J. (2005). Microbiological and sensory changes in “Morcilla de Burgos” preserved in air, vacuum and modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 71, 249–255.
- Schaefer, D. M.; Liu, Q. P.; Faustman, C.; Yin, M. C. (1995). Supranutritional administration of vitamins E and C improves antioxidant status of beef. *Journal of Nutrition*, 125, 1792S–1798S.
- Sebranek, J. G. (1982). Use of cryogenics for muscle foods. *Food Technology*, 36(4), 121–127.
- Sebranek, J. G., Sang, P. N., Topel, D. G., & Rust, R. E. (1979). Effects of freezing methods and frozen storage on chemical characteristics of ground beef patties. *Journal of Animal Science*, 4, 1101–1108.
- Sebranek, J. G., Hunt, M. C., Cornforth, D. P., & Brewer, M. S. (2006). Carbon monoxide packaging of fresh meat. *Food Technology*, 60(5), 184.

- Seydim, A. C., Acton, J. C., Hall, M. A., & Dawson, P. L. (2006). Effect of packaging atmospheres on shelf-life quality of ground ostrich meat. *Meat Science*, 73, 503–510.
- Seyfert, M.; Mancini, R. A.; Hunt, M. C.; Tang, J.; Faustman, C. (2007). Influence of carbon monoxide in package atmospheres containing oxygen on colour, reducing activity, and oxygen consumption of five bovine muscles. *Meat Science*, 75, 432–442
- Seyfert, M.; Hunt, M.C.; Mancini, R.A.; Hachmeister, K.A.; Kropf, D.H. Unruh, J.A. (2004). Accelerated chilling and modified atmosphere packaging affect colour and colour stability of injection-enhanced beef round muscles. *Meat Science*, 68, 209–219.
- Shanks, B.C.; Wulf, D.M.; Maddock, R. J. (2002). Technical note: The effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several post-mortem aging periods. *Journal of Animal Science*, 80, 2122–2125.
- Skibsted, L. H. (1996). Chemical changes in meat and meat products during storage, transportation and retail display—theoretical considerations. En: S. A. Taylor, A. Raimundo, M. Severini, & F. J. M. Smulders (Eds.), *Meat quality and meat packaging* (pp. 169– 181). Utrecht, The Netherlands: ECCEAMST.
- Skibsted, L. H.; Mikkelsen, A.; Bertelsen, G. (1998). En F. Shahidi (Ed.), *Lipid-derived off-flavours in meat* (2nd ed., pp. 217–256). Blackie Academic and Professional London.
- Sivertsvik, M.; Rosnes, J. T.; Jeksrud, W. K. (2004). Solubility and absorption of carbon dioxide into non-respiring foods. Part 2: Raw Wsh Willets. *Journal of Food Engineering*, 63, 451–458.
- Smiddy, M.; Papkovskaia, N.; Papkovsky, D.B. y Kerry, J.P. (2002). Use of oxygen sensors for the non-destructive measurement of the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packs of cooked chicken patties: impact of oxygen content on lipid oxidation. *Food Research International*, 35, 577-584.
- Smith, G. C., Spaeth, C. W., Carpenter, Z. L., King, G. T., & Hoke, K. E. (1968). The effects of freezing, frozen storage conditions, and degree of doneness on lamb palatability characteristics. *Journal of Food Science*, 33(1), 19–24.
- Snyder, H.E. (1965). Analysis of pigments at the surface of fresh beef with reflectance spectrophotometry. *Journal of Food Science*, 30: 457.

- Sørensen, G. & Jørgensen, S.S. (1996). A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 202:205-210.
- Sørheim, O., Aune, T., & Nesbakken, T. (1997). Technological, hygienic and toxicological aspects of carbon monoxide used in modified-atmosphere packaging of meat. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 307–312.
- Sørheim, O., Nissen, H., & Nesbakken, T. (1999). The storage life of beef and pork packaged in an atmosphere with low carbon monoxide and high carbon dioxide. *Meat Science*, 52, 157–164.
- Sørheim, O.; Nissen, H.; Aune, T. y Nesbakken, T. (2001). Use of carbon monoxide in retail meat packaging. Norwegian Food Research Institute (MATFORSK), manuscrito para la International Animal, Agriculture and Food Science Conference (IAAFSC).
- Sørheim, O., Wahlgren, M., Nielsen, B. N., & Lea, P. (2004). Effects of high oxygen packaging on tenderness and quality characteristics of beef longissimus muscles. *Proceedings 50th International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 120). 8–13 August 2004, Helsinki, Finland.
- Soyer, A., & Hultin, H. O. (2000). Kinetics of oxidation of the lipids and proteins of cod sarcoplasmic reticulum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2127–2134. .
- Soyer, A.; Özalp, B.; Dalmis, Ü.; Bilgin, V. (2010). Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food Chemistry*, 120: 1025–1030.
- Spencer, K. C. (1995). The use of argon and other noble gases for the MAP of foods. In *Modified atmosphere packaging (MAP) and related technologies* (conference proceedings), 6–7 September 1995. Campden and Chorleywood Food Research Association. Chipping Campden GL55 6LD, UK.
- Spencer, K. C., & Humphreys, D. J. (2003). Argon packaging and processing preserves and enhances flavor, freshness, and shelf life of foods. *Freshness and Shelf Life of Foods ACS Symposium Series*, 836, 270–291
- Srinivasan, S., & Hultin, H. O. (1995). Hydroxyl radical modification of fish muscle proteins. *Journal of Food Biochemistry*, 18, 405–425.

- Stadtman, E. R., Levine, R. L. (2003). Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. *Amino Acids*, 25, 207–218.
- Sudheer, K.; Das, C.; Mandal, P.K.; Pal, U.K.; Rao, V.K. (2011). Effect of frozen storage on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of low fat restructured chicken block incorporated with Gizzard. *International Journal of Meat Science*, 1 (1), 62-69.
- Summo, C.; Coponio, F.; Pasqualone, A. (2006). Effect of vacuum-packaging storage on the quality level of ripened sausages. *Meat Science*, 74, 249-254.
- Summo, C.; Coponio, F.; Tricarico, F.; Paradiso, V.M.; Gomes, T. (2010a). Vacuum-packed ripened sausages: Evolution of oxidative and hydrolytic degradation of lipid fraction during long-term storage and influence on the sensory properties. *Meat Science*, 84, 147-151
- Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., & Bigger, S. W. (2003). Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science*, 68(2), 408–420.
- Syed Ziauddin, K. (1993). Effect of Freezing, Thawing and Frozen Storage on Physico-chemical and Sensory Characteristics of Buffalo Meat. *Meat Science*, 35, 331-340.
- Tan W.; Shelef LA. (2002). Effects of sodium chloride and lactates on chemical and microbiological changes in refrigerated and frozen fresh ground pork. *Meat Science*, 62, 27–32.
- Tejeda, J.F., González, E. (2000). El binomio cerdo ibérico-dehesa. Líneas y cruces. Tipos de alimentación. En: *Tecnología del Jamón Ibérico. De los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma*. Ediciones Mundi-Prensa. pp 73-99.
- Tejerina, D. (2011). Caracterización de los recursos naturales de dehesa (bellota y pasto) durante la Montanera e influencia del sistema de producción sobre parámetros inmunológicos y calidad de carne del cerdo Ibérico. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura.
- Tejerina, D.; García-Torres, S.; Cabeza de Vaca, M.; Vázquez, F.M.; Cava, R. (2011). Acorns (*Quercus rotundifolia* Lam.) and grass as natural sources of antioxidants and fatty acids in the "montanera" feeding of Iberian pig: Intra- and inter-annual variations. *Food Chemistry*, 124, 997-1004.

- Tejerina, D.; García-Torres, S.; Cabeza de Vaca, M.; Vázquez, F.M.; Cava, R. (2012a). Study of variability in antioxidant composition and fatty acids profile of Longissimus dorsi and Serratus ventralis muscles from Iberian pigs reared in two different Montanera seasons. *Meat Science*, 90, 414-419.
- Tornadijo, M.E.; Fresno, J.M. (2004). Fundamento, tecnología y aplicaciones del envasado de los alimentos en atmósfera modificada. *Alimentación, equipos y tecnología*, 189, 101-109.
- Tørngren, M. A. (2003). Effect of packing method on colour and eating quality of beef loin steaks. *Proceedings 49th International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 495–496). 31st August–5 September 2003, Campinas, Brazil.
- Tremonte, P., Sorrentino, E., Succi, M., Reale, A., Maiorano, G., & Coppola, R. (2005). Shelf life of fresh sausages stored under modified atmospheres. *Journal of Food Protection*, 68, 2686–2692.
- Tschirhart-Hoelscher, T.E.; Baird, B.E.; King, D.A.; McKenna, D.R.; Savell, J.W. (2006). Physical, chemical, and histological characteristics of 18 lamb muscles. *Meat Science*, 73, 48-54.
- Tsemakhovich, V.; Shaklai, N. (2000). Extension of meat shelf-life by high level carbon monoxide modified atmosphere. In: *Proceedings of the 46th International Congress of Meat Science and Technology*, Buenos Aires, Argentina, pp. 772–773.
- UNE-EN ISO 11290-1 (1997): Microbiología de los alimentos para consumo humano y para animales. Método horizontal para la detección y el recuento de *Listeria monocytogenes*. Parte 1: Método de detección. (ISO 11290-1:1996).
- UNE-EN 13401 (1999): Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal : método horizontal para el recuento de *Clostridium perfringens*. Parte 2, Técnica de recuento de Colonias: (ISO 7937:1997 modificada)
- Üren, A.; Babayiğit, D. (1996). Determination of Turkish-type fermented colour by a reflectance method. *Food Chemistry*, 57 (4), 561-567.
- Üren, A.; Babayiğit, D. (1997). Colour Parameters of Turkish-type Fermented Sausage During Fermentation and Ripening. *Meat Science*, 45 (4), 539-549.
- Uttaro, B., & Aalhus, J. L. (2007). Effect of thawing rate on distribution of an injected salt and phosphate brine in beef. *Meat Science*, 65(3), 480–486. DENTRO DE MUELA

- Valencia, I.; Ansorena, D.; Antiasarán, I. (2006). Stability of linseed oil and antioxidants containing dry fermented sausages: A study of the lipid fraction during different storage conditions. *Meat Science*, 73, 269–277.
- Ventanas-Barroso, J.; Ruiz, J.; Córdoba, J.J. (2000). El jamón curado de cerdo Ibérico: descripción del proceso tradicional de elaboración. En: *Tecnología del Jamón Ibérico. De los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma*. Ediciones Mundi-Prensa. pp 45-77.
- Ventanas, J., Ruiz, J., Martín, L., Antequera, T. y Córdoba, J.J. (1994). Calidad del jamón Ibérico: factores que condicionan el desarrollo del sabor y del aroma. En *Panorámica actual de cerdo Ibérico y sus productos*.
- Ventanas, S., Ventanas, J., Ruiz, J., & Estévez, M. (2005). In Iberian pigs for the development of high-quality cured products. Recent research in development in agricultural and food chemistry (pp. 27–53). Trivandrum, Kerala, India: Research Singpost.
- Ventanas, S.; Estévez, M.; Tejeda, J.F.; Ruiz, J. (2006). Protein and lipid oxidation in *Longissimus dorsi* and dry cured loin from Iberian pigs as affected by crossbreeding and diet. *Meat Science*, 72, 647–655
- Ventanas, S.; Ruiz, J.; García, C.; Ventanas, J. (2007). Preference and juiciness of Iberian dry-cured loin as affected by intramuscular fat content, crossbreeding and rearing system. *Meat Science*, 77, 324–330
- Vieira, C.; Díaz, M.T.; Martínez, B.; García-Cachán, M.D. (2009). Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. *Meat Science*, 83, 398-404.
- Vuorela, S., Salminen, H., Makela, M., Kivikari, R.; Karonen, M.; Heinonen M.(2005). , Effect of plant phenolics on protein and lipid oxidation in cooked pork meat patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*., 53, 8492–8497.
- Warren, K.E.; Hunt, M.C.; Krupf, D.H.; Hague, M.A.; Waldner, C.L.; Stroda, S.L.; Kastner, C.L. (1996). Chemical properties of ground beef patties exhibiting normal and premature brown internal cooked color. *Journal of Muscle Foods*, 7, 303-314.
- Weber, H. (1994). Dry sausage manufacture the importance of protective cultures and their metabolic products. *Fleischwirtschaft*, 74, 278–281.

- Wen, J., Morrissey, P. A., Buckley, D. J., & Sheeby, P. J. A. (1996). Oxidative stability and α -tocopherol retention in turkey burgers during refrigerated and frozen storage as influenced by dietary α -tocopheryl acetate. *British Poultry Science*, 37, 787–795.
- Wilkinson, B.H.P.; Janz, J.A.M.; Morel, P.C.H.; Purchas, R.W.; Hendriks, W.H. (2006). The effect of modified atmosphere packaging with carbón monoxide on the storage quality of master-packaged fresh pork. *Meat Science*, 73, 605-610.
- Wójciak, K.M.; Trazaskowska, M.; Kolozyn-Krajewska, D.; Dolatwski, Z.J. (2012). Evaluation of technological properties and oxidative stability of organic dry fermented probiotic sausages during long-term storage. *Bull Vet Inst Pulawy*, 56, 305-314.
- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M.M., Kasapidou, P. R., y col. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science*, 66, 21–32.
- Xiong, Y. L. (2000). Protein oxidation and implications for muscle foods quality. In E.A. Decker, C. Faustman, & C. J. Lopez-Bote (Eds.), *Antioxidants in muscle foods* (pp. 85–111). New York: Wiley.
- Yamamoto, Y., Fujisawa, A., Hara, A., & Dunlap, W. C. (2001). An unusual vitamin E constituent provides enhanced antioxidant protection in marine organisms adapted to cold-water environments. *Procedures of National Academic of Sciences*, 98, 13144–13148
- Yasosky, J. J., Aberle, E. D., Peng, I. C., Mills, E. W., & Judge, M. D. (1984). Effects of pH and time of grinding on lipid oxidation of fresh ground pork. *Journal of Food Science*, 49, 1510–1512.
- Young, O. A., Reid, D. H., Smith, M. E., & Braggins, T. J. (1994). Sheepmeat odour and flavour. In F. Shahidi (Ed.), *Flavor of meat and meat products* (pp. 71–97). London: Blackie Academic & Professional.
- Zakrys, P.I.; Hogan, S.A.; O'Sullivan, M.G.; Allen, P; Kerry, J.P. (2008). Effects of oxygen concentration on the sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere. *Meat Science*, 79, 648–655.
- Zanardi, E., Dorigoni, V., Badiani, A., & Chizzolini, R. (2002). Lipid and colour stability of Milano-type sausages: Effect of packing conditions. *Meat Science*, 61, 7–14.
- Zhang, S. X.; Farouk, M. M.; Young, O. A.; Weliczko, K. J.; Podmore, C. (2005). Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat science*, 69, 765–772.

Zhao, Y., Wells, J. H.; McMillin, K.W. (1994). Application of dynamic modified atmosphere packaging system for fresh red meats. *Review Journal of Muscle Foods*, 5, 299–328.

Zhu, S.; Bail, A.; Ramaswarny, H. S.; Chapleau, N.(2004). Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shift freezing as compared with classical freezing methods. *Journal of Food Science*, 69(4), 190–197.

PUBLICACIONES

