



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA  
NUTRICIÓN Y BROMATOLOGÍA**

**FACULTAD DE FARMACIA**

***ESTUDIO DE LA ELABORACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOMO  
SAJONIA ECOLÓGICO MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE  
PRODUCTOS NATURALES***

**Memoria presentada por la Licenciada en Biología**

***MONTSERRAT VAQUERO MARTÍN* para optar al grado de Doctor**

**Fdo: Montserrat Vaquero Martín**

***Salamanca, 27 de Abril de 2013***





INSTITUTO  
TECNOLÓGICO  
AGRARIO

Junta de Castilla y León  
Consejería de Agricultura y Ganadería

Av. Filiberto Villalobos 7  
37770 Guijuelo  
Salamanca

T +34 923 580 688  
F +34 923 580 353  
www.itacyl.es

Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León

Dña. **Begoña Rubio Hernando**, Técnico y Dña. **Beatriz Martínez Domínguez**, Investigador, ambas pertenecientes a la Estación Tecnológica de la Carne del Instituto Tecnológico Agrario, adscrito a la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León, en su calidad de directoras de la presente Tesis Doctoral,

**CERTIFICAN:** Que la presente Memoria de Tesis Doctoral titulada “*Estudio de la elaboración y conservación de lomo Sajonia ecológico mediante la incorporación de productos naturales*”, de la que es autora la Licenciada en Biología Dña. **Montserrat Vaquero Martín** ha sido realizada en la Estación Tecnológica de la Carne bajo nuestra dirección conjunta y cumple las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor.

Para que conste, firman la presente en Guijuelo, 27 de Abril de 2013.

Fdo.: Begoña Rubio Hernando

Fdo.: Beatriz Martínez Domínguez





**UNIVERSIDAD  
DE SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

**DPTO. QUÍMICA ANALÍTICA, NUTRICIÓN  
Y BROMATOLOGÍA  
FACULTAD DE FARMACIA**

Campus *Miguel de Unamuno*-37007 Salamanca  
Teléf.: 923 294537 – Fax: 923 294515  
e-mail: [nutri@usal.es](mailto:nutri@usal.es)

DÑA. MARIA JESUS PEÑA EGIDO, Profesora Titular de Nutrición y Bromatología de la Universidad de Salamanca, informa que Dña. **Montserrat Vaquero Martín** ha realizado el trabajo titulado “*Estudio de la elaboración y conservación de lomo Sajonia ecológico mediante la incorporación de productos naturales*”, bajo la dirección de las **Dras. Begoña Rubio Hernando y Beatriz Martínez Domínguez** y estima, como tutora, que el mencionado trabajo reúne los requisitos necesarios para su presentación y defensa como Tesis Doctoral.

Salamanca, 27 de Abril de 2013.

Fdo.: M<sup>a</sup> Jesús Peña Egado



Para la realización de la Tesis Doctoral, la autora ha disfrutado de una beca predoctoral del INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) y ha contado con financiación del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL) a través del proyecto “Optimización del proceso de elaboración y conservación para la obtención de productos cocidos ecológicos de alta calidad” (PEP- 2006.001934).



*“Casi todo lo que realice será insignificante, pero es muy importante que lo haga”*

*Mahatma Gandhi.*



*Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta Tesis Doctoral:*

*A mis directoras de Tesis, las Dras. Begoña Rubio Hernando y Beatriz Martínez Domínguez por su orientación y apoyo. Por acompañarme a lo largo de este camino, sin vosotras no hubiese sido posible esta Tesis.*

*A la Dra. M<sup>a</sup> Dolores García Cachán por darme la oportunidad de realizar este trabajo y haber confiado en mí.*

*Al Dr. Joe Kerry por permitirme realizar una estancia en su laboratorio, " Department of Food & Nutritional Sciences, University College Cork" y por su atención durante ese tiempo.*

*Al Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Universidad de Salamanca en especial a la Doctora María Jesús Peña Egido, por su ayuda, información e interés prestados durante la tutela de este trabajo.*

*A Arancha por haberme ayudado a romper uno de mis grandes muros, el inglés, por haber sabido inculcarme la curiosidad por esta lengua y haberme sacado de tantos apuros cuando me encontré sola ante el peligro...*

*A mis compañeros a lo largo de la Tesis Cristi, Mónica, Cristina Egido, Marta, etc...y al resto de panel de catadores de la Estación Tecnológica de la Carne, por hacer de mi estancia, unas risas, por tan buenos momentos y por enseñarme la filosofía de vida "...es lo que hay..."*

*A María, por ayudarme y haberme enseñado tanto como compañera y persona, por saber que para todo trabajo no tenía dos manos sino cuatro.*

*A todas las personas Judith, Esther, Gloria... que no puedo nombrar en los agradecimientos por motivos obvios y que en algún momento me dijeron de una u otra forma "no es propio de ti renunciar a lo que quieres", por escucharme, por su ánimo y apoyo mil gracias.*

*A mi bichito (Isa) por aconsejarme, escucharme y darme ánimos en todo momento, por tu amistad sincera e incondicional. Y por estar conmigo en una de las maravillas del mundo...*

*A Marco por haber estado ahí y haber compartido días de alegría y desencanto, por haber escuchado la misma historia una y otra vez sin enfadarte y por poner tanto interés cuando hablo de las cosas de ciencia que tanto me gustan...*

*A mis padres, abuelos y hermano. Gracias por enriquecer mi existencia con vuestro apoyo y consejo. Por quererme tanto y educarme con toda libertad. A vosotros os debo todo lo que he conseguido, pero sobretodo, todo lo que soy.*



---

# ÍNDICE

---



---

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**
**ÍNDICE**

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ABREVIATURAS.....	XIX

**RESUMEN**

RESUMEN .....	XXIII
SUMMARY.....	XXVII

**I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

1.1. El sector cárnico. Evolución y tendencias.....	3
1.2. Productos cárnicos tratados por el calor: el lomo sajonia.....	6
1.3. Tecnología de la elaboración del lomo Sajonia.....	7
1.3.1. Materias primas .....	9
1.3.2. Ingredientes y aditivos .....	11
1.3.2.1. <i>Agua</i> .....	11
1.3.2.2. <i>Sal (cloruro sódico)</i> .....	12
1.3.2.3. <i>Azúcares</i> .....	14
1.3.2.4. <i>Nitritos</i> .....	14
1.3.2.5. <i>Fosfatos</i> .....	20
1.3.2.6. <i>Antioxidantes: Ácido ascórbico</i> .....	22
1.3.2.7. <i>Otros antioxidantes</i> .....	23
1.3.2.8. <i>Otros aditivos</i> .....	25
1.3.3. Preparación de la salmuera .....	26
1.3.4. Incorporación de la salmuera .....	27
1.3.5. Masajeado .....	29
1.3.6. Enmoldado.....	31

## Índice

---

1.3.7. Cocción.....	32
1.3.8. Ahumado.....	36
1.3.9. Enfriamiento.....	37
1.3.10. Envasado.....	37
1.4. Implicaciones de la elaboración de lomo Sajonia ecológico.....	38
1.5. Estrategias para solventar las limitaciones de la elaboración de lomo Sajonia ecológico.....	43
1.5.1. Estrategias para solventar las limitaciones del uso de nitritos.....	44
1.5.1.1. Adición de colorantes naturales.....	45
1.5.1.2. Adición de nitrosilhemocromo sintetizado fuera de la matriz cárnica.....	47
1.5.1.3. Formación de nitrosilmioglobina in situ a través de cultivos iniciadores.....	49
1.5.1.4. Formación de nitrosilmioglobina in situ a través de cultivos iniciadores utilizando una fuente de nitratos.....	49
1.5.1.5. Reducción de los niveles residuales de nitrito.....	50
1.5.2. Estrategias para solventar las limitaciones del uso de fosfatos.....	52
1.6. Estrategias para mejorar la conservación del lomo Sajonia ecológico.....	56
1.6.1. Envasado en atmósferas protectoras.....	57
1.6.2. Envases activos/inteligentes.....	61
1.6.3. Películas y recubrimientos comestibles.....	63
1.6.3.1. Componentes.....	64
1.6.3.2. Aplicaciones en la industria cárnica.....	68
<b>II. OBJETIVOS</b>	
2.1. Justificación.....	75
2.2. Objetivos del trabajo.....	75
<b>III. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL</b>	
3.1 Planteamiento experimental.....	79
3.1.1. Estudio 1: Elaboración de lomo Sajonia ecológico. Adaptación del proceso de elaboración.....	79

---

3.1.1.1. <i>Diseño experimental</i> .....	79
3.1.1.2. <i>Plan de trabajo</i> .....	80
3.1.2. Estudio 2: Elaboración de lomo Sajonia mediante la utilización de un extracto vegetal.....	81
3.1.2.1. <i>Diseño experimental</i> .....	81
3.1.2.2. <i>Plan de trabajo</i> .....	82
3.1.3. Estudio 3: Optimización de la formulación para la elaboración de lomo Sajonia mediante utilización de un extracto vegetal .....	83
3.1.3.1. <i>Diseño experimental</i> .....	83
3.1.3.2. <i>Plan de trabajo</i> .....	85
3.1.4. Estudio 4: Efecto de las condiciones de almacenamiento en la vida útil de los lotes experimentales de lomo Sajonia.....	87
3.1.4.1. <i>Diseño experimental</i> .....	87
3.1.4.2. <i>Plan de trabajo</i> .....	87
3.1.5. Estudio 5: Evaluación de diferentes estrategias para mejorar la vida útil de los lotes experimentales de lomo Sajonia.....	90
3.1.5.1. <i>Diseño experimental</i> .....	90
3.1.5.2. <i>Plan de trabajo</i> .....	90
<b>IV. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	
4.1. Material biológico y transformación.....	95
4.2. Métodos de análisis .....	100
4.2.1. Parámetros tecnológicos .....	100
4.2.1.1. <i>Determinación del rendimiento</i> .....	100
4.2.1.2. <i>Determinación de las pérdidas por cocción</i> .....	100
4.2.2. Análisis microbiológicos .....	100
4.2.2.1. <i>Preparación de la muestra</i> .....	100

## Índice

---

4.2.2.2. Recuentos de flora aerobia mesófila viable.....	101
4.2.2.3. Recuentos de flora psicrotrofa.....	101
4.2.2.4. Recuentos de flora anaerobia.....	101
4.2.2.5. Recuentos de pseudomonas.....	102
4.2.2.6. Recuentos de enterobacterias.....	102
4.2.2.7. Recuentos de cocos Gram positivos, catalasa positivos.....	102
4.2.2.8. Recuentos de bacterias ácido lácticas.....	103
4.2.2.9. Recuentos de mohos y levaduras.....	103
4.2.3. Análisis físico-químicos.....	103
4.2.3.1. Determinación del pH.....	103
4.2.3.2. Determinación de la actividad de agua.....	104
4.2.3.3. Determinación del agua retenida.....	104
4.2.3.4. Determinación de la humedad.....	105
4.2.3.5. Determinación de proteínas.....	106
4.2.3.6. Determinación de la grasa.....	107
4.2.3.7. Determinación de las cenizas.....	108
4.2.3.8. Determinación del cloruro sódico.....	109
4.2.3.9. Determinación de nitritos.....	110
4.2.3.10. Determinación del nitratos.....	111
4.2.3.11. Determinación de los fosfatos.....	112
4.2.3.12. Cálculo del porcentaje de salmuera.....	113
4.2.3.13. Determinación del índice de oxidación.....	114
4.2.3.14. Determinación instrumental del color.....	115

---

4.2.3.15. <i>Estimación de los diferentes estados de oxidación de la mioglobina.</i> .....	115
4.2.3.16. <i>Determinación instrumental de la textura.</i> .....	116
4.2.4. Análisis de las propiedades sensoriales con panel de catadores.....	118
4.2.4.1. <i>Prueba de aceptación</i> .....	119
4.2.4.2. <i>Prueba triangular.</i> .....	121
4.2.4.3. <i>Prueba de preferencia.</i> .....	121
4.2.5. Análisis estadístico.....	124

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Estudio 1: Elaboración de lomo Sajonia ecológico. Adaptación del proceso de elaboración.....	129
5.1.1. Características tecnológicas.....	130
5.1.2. Composición centesimal y contenido de aditivos.....	131
5.1.3. Características físico-químicas.....	133
5.1.4. Evaluación instrumental del color.....	135
5.1.5. Evaluación instrumental de la textura (TPA).....	136
5.1.6. Resumen.....	138
5.2. Estudio 2: Elaboración de lomo Sajonia mediante la utilización de un extracto vegetal.....	139
5.2.1. Resultados obtenidos durante el proceso de elaboración.....	140
5.2.1.1. <i>Resultados microbiológicos.</i> .....	140
5.2.1.2. <i>Resultados físico-químicos.</i> .....	141
5.2.1.3. <i>Estados de oxidación de la mioglobina.</i> .....	146
5.2.2. Resultados obtenidos en el producto final.....	150
5.2.2.1. <i>Características tecnológicas.</i> .....	150
5.2.2.2. <i>Composición centesimal</i> .....	151
5.2.2.3. <i>Contenido en aditivos</i> .....	152

## Índice

---

5.2.2.4. Características físico-químicas.....	154
5.2.2.5. Evaluación instrumental del color.....	156
5.2.2.6. Evaluación instrumental de la textura (TPA).....	157
5.2.2.7. Características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados.....	159
5.2.3. Resumen .....	161
5.3. Estudio 3: Optimización de la formulación para la elaboración de lomo Sajonia mediante la utilización de un extracto vegetal.....	163
5.3.1. Resultados de la estrategia 1. ....	164
5.3.1.1. Características tecnológicas.....	164
5.3.1.2. Características físico-químicas.....	165
5.3.1.3. Evaluación instrumental del color. ....	166
5.3.1.4. Características sensoriales evaluadas con un panel de catadores (consumidores).....	167
5.3.1.5. Resumen.....	169
5.3.2. Resultados de la estrategia 2. ....	171
5.3.2.1. Características tecnológicas.....	171
5.3.2.2. Características físico-químicas.....	171
5.3.2.3. Evaluación instrumental del color. ....	173
5.3.2.4. Características sensoriales evaluadas con un panel de catadores (consumidores) .....	175
5.3.2.5. Resumen.....	179
5.4. Estudio 4: Efecto de las condiciones de almacenamiento en la vida útil de los lotes experimentales de lomo Sajonia. ....	180
5.4.1. Evolución de los parámetros microbiológicos. ....	180
5.4.2. Evolución del pH y de la aw.....	183

5.4.3. Evolución del índice de oxidación (TBARS).....	185
5.4.4. Evolución de los parámetros de color medidos de forma instrumental .....	187
5.4.5. Evolución de los parámetros de textura evaluados de forma instrumental.....	191
5.4.6. Resultados de la evaluación sensorial con un panel de catadores entrenados.....	194
5.4.7. Resumen .....	198
5.5. Estudio 5: evaluación de diferentes estrategias para mejorar la vida útil de los lotes experimentales de lomo Sajonia .....	199
5.5.1. Resultados microbiológicos .....	199
5.5.2. Resultados de la evaluación del pH y de la aw.....	204
5.5.3. Resultados de la evaluación del color medidos de forma instrumental .....	207
5.5.4. Resultados de la evaluación instrumental de la textura.....	209
5.5.5. Resultados de la evaluación sensorial realizada con un panel de catadores entrenados .....	211
5.5.6. Resumen .....	213
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	
6.1. Conclusiones.....	217
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>	
7.1. Bibliografía .....	221



---

**ÍNDICE DE FIGURAS**

- Figura 1.** Diagrama de flujo de la elaboración de lomo Sajonia ..... 8
- Figura 2.** Localización del lomo en la canal del cerdo..... 9
- Figura 3.** Pigmentos formados a partir de la mioglobina mediante reacciones de óxido reducción y/o la adición de nitritos..... 18
- Figura 4.** Transformación de la nitrosilmioglobina en nitrosilhemocromo durante el tratamiento térmico ..... 19
- Figura 5.** Diferentes modos de inyección de la salmuera ..... 28
- Figura 6.** Lomos en moldes de acero inoxidable y lomos embutidos en mallas ..... 32
- Figura 7.** Evolución de la temperatura exterior y de la temperatura en el centro de la pieza a lo largo del tiempo en los diferentes tipos de cocción..... 35
- Figura 8.** Lomo Sajonia loncheado en VSP (Vacuum Skin Packaging)..... 58
- Figura 9.** Aspecto de los envases de lomo Sajonia loncheado..... 89
- Figura 10.** a) Esprayado de las lonchas de lomo Sajonia con los diferentes tratamientos y b) aspecto final de los envases de lomo Sajonia loncheado... 91
- Figura 11.** Comprobación del pH de la materia prima utilizada para la elaboración de lomo Sajonia.....96
- Figura 12.** Elaboración de la salmuera .....97
- Figura 13.** Incorporación de la salmuera con la inyectora multiagujas.....97
- Figura 14.** Bombo de masajeado y lomos inyectados dentro del bombo..98
- Figura 15.** Enmoldado de los lomos y colocación de los mismos dentro del horno en el que se llevó a cabo la cocción.....98
- Figura 16.** Evolución de la temperatura (temperatura programada, temperatura en el interior del horno, temperatura en el interior del producto) durante la etapa de cocción.....99
- Figura 17.** Esquema del equipo Smart System5™ .....105
- Figura 18.** Etapas del análisis de grasa por RMN: a) preparación de la muestra en el sobre, b) introducción de la misma en el tubo de plástico y c) colocación en el módulo de RMN.....108
- Figura 19.** Curva tipo obtenida en el análisis de perfil de textura (TPA) ...117
- Figura 20:** Medida instrumental de la textura .....118

<b>Figura 21.</b> a) preparación de muestras en el horno b) muestras en los baños de arena c) evaluación de las muestras de lomo en la sala de catas de la Estación Tecnológica de la Carne.....	119
<b>Figura 22.</b> Hoja de cata utilizada para realizar la prueba de aceptación.....	122
<b>Figura 23.</b> Hoja de cata utilizada para realizar la prueba triangular .....	123
<b>Figura 24.</b> Hoja de cata utilizada para realizar la prueba de preferencia.....	124
<b>Figura 25.</b> Evolución del contenido de metamioglobina (MtMb) durante el proceso de elaboración de los lotes experimentales de lomo Sajonia .....	147
<b>Figura 26.</b> Evolución del contenido de desoximioglobina (Mb) durante el proceso de elaboración de los tres lotes experimentales de lomo Sajonia .....	148
<b>Figura 27.</b> Evolución del contenido de oximioglobina (MbO) durante el proceso de elaboración de los tres lotes experimentales de lomo Sajonia .....	149
<b>Figura 28.</b> Aspecto visual del lomo Sajonia elaborado con: a) 80 mg/kg de nitritos y sin fosfatos (Lote ECO), b) 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria y sin fosfatos (Lote V) y c) 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria y con 1.000 mg/kg de fosfatos (Lote VF).....	162
<b>Figura 29.</b> Aspecto visual del lomo Sajonia elaborado con: a) 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria (Lote V 1,32 b) 0,90% de extracto vegetal de apio y zanahoria (Lote V 0,90) y c) 0,48% de extracto vegetal de apio y zanahoria (Lote V 0,48).....	170
<b>Figura 30.</b> Aspecto visual del lomo Sajonia elaborado con: a) 0,60 % de extracto de vino blanco (Lote VVB-0,60) b) 1,80% de extracto de vino blanco (Lote VVB-1,8) c) 0,60% de extracto de romero, salvia y orégano (Lote VRSO-0,60) y d) 1,80% de extracto de romero, salvia y orégano (LoteVRSO-1,80).....	177
<b>Figura 31.</b> Evolución de los recuentos de pseudomonas obtenidos en los diferentes lotes de lomo Sajonia elaborados (ECO, VVB, VVBF), a lo largo del almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C.....	204
<b>Figura 32.</b> Resultados obtenidos para la luminosidad (L*) en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) .....	208

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Producción de elaborados cárnicos (T <sub>M</sub> ) en España.....	4
<b>Tabla 2.</b> Diseño experimental utilizado en el estudio de adaptación del proceso de elaboración para obtener Lomo Sajonia ecológico.....	80
<b>Tabla 3.</b> Composición de la salmuera utilizada en el Estudio 1.....	80
<b>Tabla 4.</b> Composición de las salmueras usadas en la elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia del Estudio 2.....	82
<b>Tabla 5.</b> Composición de las salmueras utilizadas para la elaboración del lomo Sajonia con diferente concentración de extracto vegetal (Estrategia 1 del Estudio 3).....	85
<b>Tabla 6.</b> Composición de las salmueras utilizadas en la elaboración de lomo Sajonia con diferentes tipos y concentraciones de antioxidantes naturales (Estrategia 2 del Estudio 3)	86
<b>Tabla 7.</b> Composición de las salmueras usadas en la elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia del Estudio 4.....	88
<b>Tabla 8.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) para los parámetros tecnológicos evaluados en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado.....	130
<b>Tabla 9.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) para la composición centesimal, el contenido en NaCl y en nitritos y la cantidad de salmuera retenida en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado y en el lomo Sajonia comercial.....	131
<b>Tabla 10.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) para el pH, la aw y la AR medidos en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado y en el lomo Sajonia comercial.....	133
<b>Tabla 11.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) en la medida del color de forma instrumental en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado y en el lomo Sajonia comercial.....	135
<b>Tabla 12.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) en el análisis del perfil de textura en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado.....	137
<b>Tabla 13.</b> Recuentos microbiológicos (log ufc/g) (media $\pm$ desviación estándar) a lo largo del proceso de elaboración de los tres lotes experimentales .....	140

**Tabla 14.** Evolución del pH, del contenido en nitratos y nitritos (media  $\pm$  desviación estándar) a lo largo del proceso de elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia .....142

**Tabla 15.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) para los parámetros tecnológicos evaluados en los tres lotes experimentales de lomo Sajonia..... 150

**Tabla 16.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la composición centesimal de los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia ..... 151

**Tabla 17.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en el contenido de aditivos en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia..... 152

**Tabla 18.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación del pH, la aw y el AR en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia ..... 155

**Tabla 19.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación instrumental del color en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia ..... 156

**Tabla 20.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en el análisis del

perfil de textura de los lotes experimentales de lomo Sajonia.....158

**Tabla 21.** Puntuaciones obtenidas (media  $\pm$  desviación estándar) en la prueba de aceptación en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia.....160

**Tabla 22.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en los parámetros tecnológicos evaluados en el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal ....164

**Tabla 23.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación del contenido en nitratos y nitritos residuales en el lomo Sajonia elaborado con diferentes concentraciones de extracto vegetal..... 165

**Tabla 24.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación instrumental del color en los tres lotes experimentales de lomo Sajonia.....166

**Tabla 25.** Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal en las muestras antes de ser calentadas.....167

**Tabla 26.** Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas entre el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal en las muestras calentadas.....168

<b>Tabla 27.</b> Resultados obtenidos en las pruebas de preferencia realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal en las muestras antes de ser calentadas .....	169
<b>Tabla 28.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) en los parámetros tecnológicos del lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales .....	171
<b>Tabla 29.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) en la medida del pH de la materia prima, de la salmuera y del producto final cuando se utilizaron diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales en la elaboración de lomo Sajonia.....	172
<b>Tabla 30.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) en el contenido en nitratos y nitritos de los lomos Sajonia elaborados con diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales .....	173
<b>Tabla 31.</b> Resultados obtenidos (media $\pm$ desviación estándar) en la evaluación instrumental del color en los lotes experimentales de lomo Sajonia .....	174
<b>Tabla 32.</b> Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos y concentración de antioxidantes naturales en las muestras antes de ser calentadas .....	175
<b>Tabla 33.</b> Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos y concentración de antioxidantes naturales en las muestras después de ser calentadas.....	178
<b>Tabla 34.</b> Resultados obtenidos en las pruebas de preferencia realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferente tipos y concentraciones de antioxidantes naturales en las muestras antes de ser calentadas.....	178
<b>Tabla 35.</b> Evolución de los parámetros microbiológicos (log ufc/g) (media $\pm$ desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad.....	181
<b>Tabla 36.</b> Evolución de los parámetros microbiológicos (log ufc/g) (media $\pm$ desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz ...	181
<b>Tabla 37.</b> Evolución del pH y de la aw (media $\pm$ desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad.....	183
<b>Tabla 38.</b> Evolución del pH y de la aw (media $\pm$ desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz.....	184

<p><b>Tabla 39.</b> Evolución del índice de oxidación lipídica (mg de MDA/kg de muestra) (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad..... 185</p> <p><b>Tabla 40.</b> Evolución del índice de oxidación lipídica (mg de MDA/kg de muestra) (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz..... 186</p> <p><b>Tabla 41.</b> Evolución de los parámetros de color (<math>L^*</math>, <math>a^*</math>, <math>b^*</math>) (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes de lomo Sajonia experimentales durante su almacenamiento en oscuridad..... 188</p> <p><b>Tabla 42.</b> Evolución de los parámetros de color (<math>L^*</math>, <math>a^*</math>, <math>b^*</math>) (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz... 189</p> <p><b>Tabla 43.</b> Evolución de los parámetros de textura medida de forma instrumental (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad..... 192</p> <p><b>Tabla 44.</b> Evolución de los parámetros de textura medida de forma instrumental (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes</p>	<p>experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz .....193</p> <p><b>Tabla 45.</b> Evolución de los parámetros sensoriales (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad .....195</p> <p><b>Tabla 46.</b> Evolución de los parámetros sensoriales (media <math>\pm</math> desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz .....196</p> <p><b>Tabla 47.</b> Efecto de la formulación (A-ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características microbiológicas del lomo Sajonia .....200</p> <p><b>Tabla 48.</b> Resultados obtenidos (log ufc/g) en los microorganismos analizados en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C ..... 201</p> <p><b>Tabla 49.</b> Efecto de la formulación (A-ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características físico-químicas del lomo Sajonia.....205</p>
--	--

<p><b>Tabla 50.</b> Resultados obtenidos la evaluación del pH, la <math>a_w</math> y el color en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C ..... 206</p> <p><b>Tabla 51.</b> Efecto de la formulación (A-ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características de textura del lomo Sajonia ..... 210</p> <p><b>Tabla 52.</b> Resultados obtenidos en la evaluación instrumental de la textura en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes</p>	<p>tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C.....210</p> <p><b>Tabla 53.</b> Efecto de la formulación (A-ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características sensoriales del lomo Sajonia .....211</p> <p><b>Tabla 54.</b> Resultados obtenidos la evaluación de los parámetros sensoriales medidos en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C .....212</p>
--	---



**ABREVIATURAS**

<b>a*</b> : índice de rojo-verde.	<b>DFD</b> : oscuras, firmes y secas.
<b>AESAN</b> : Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición.	<b>DMb</b> : desoximioglobina.
<b>AFNOR</b> : Asociación Francesa de Normalización.	<b>DOCE</b> : Diario Oficial de la Comunidad Europea.
<b>ANICE</b> : Asociación Nacional de Industrias Cárnicas Españolas.	<b>DOUE</b> : Diario Oficial de la Unión Europea.
<b>ANOVA</b> : análisis de la varianza.	<b>EDTA</b> : ácido etilendiaminotetraacético
<b>AR</b> : agua retenida.	<b>FAMV</b> : Flora Aerobia Mesófila viable.
<b>a<sub>w</sub></b> : actividad de agua.	<b>Fe<sup>2+</sup></b> : ión ferroso.
<b>b*</b> : índice de amarillo-azul.	<b>Fe<sup>3+</sup></b> : ión férrico.
<b>BAL</b> : bacterias ácido lácticas.	<b>g</b> : gramo.
<b>BOE</b> : Boletín Oficial del Estado.	<b>GRAS</b> : Generally Recognized As Safe- Generalmente reconocido como seguro.
<b>Ca<sup>2+</sup></b> : ión calcio.	<b>ha</b> : hectárea.
<b>CRA</b> : capacidad de retención de agua.	<b>hab</b> : habitante.
<b>CE</b> : Comunidad Europea.	<b>HR</b> : humedad relativa.
<b>CEE</b> : Comunidad Económica Europea.	<b>HRd</b> : agentes reductores.
<b>CGC+</b> : cocos Gram positivos, catalasa positivos.	<b>HNO<sub>2</sub></b> : ácido nitroso.
<b>cm</b> : centímetro.	<b>h</b> : hora.
<b>cm<sup>2</sup></b> : centímetro cuadrado	<b>IARC</b> : Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.
<b>cm<sup>3</sup></b> : centímetro cúbico.	<b>ISO</b> : Organización Internacional de Estandarización.
<b>CO<sub>2</sub></b> : dióxido de carbono.	

## Índice

---

**kg:** kilogramos.

**l:** litro.

**L\*:** luminosidad.

**log:** logaritmo.

**M:** molar.

**m<sup>2</sup>:** metro cuadrado

**MARM:** Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

**MAGRAMA** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

**Mb:** Mioglobina.

**MbO:** oximioglobina.

**MbFe(II)-NO:** nitrosilmioglobina.

**MDA:** ácido malonaldehído.

**MtMb:** metamioglobina.

**min:** minutos.

**mg:** miligramo.

**ml:** mililitros.

**mm:** milímetros.

**N:** newton.

**NaCl:** cloruro sódico.

**NaOH:** hidróxido sódico.

**nm:** nanómetros.

**N<sub>2</sub>:** nitrógeno.

**NO:** óxido nítrico.

**N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** trióxido de dinitrógeno.

**O<sub>2</sub>:** oxígeno.

**°C:** grado centígrado.

**PSE:** pálidas, blandas, exudativas.

**rpm:** revoluciones por minuto.

**T<sup>a</sup>:** temperatura.

**TBA:** ácido tiobarbitúrico.

**TBARS:** sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico.

**TPA:** texture profile analyse-análisis de perfil de textura.

**T<sub>M</sub>:** toneladas métricas

**ufc:** unidades formadoras de colonias.

**UE:** Unión Europea

**UNE:** Una Norma Española.

**WOF:** Warmed Over Flavor.

**y col.:** y colaboradores.

**µg:** microgramo.

---

# RESUMEN

---



## **RESUMEN**

El objetivo de esta Tesis Doctoral fue la obtención de lomo Sajonia que pudiera ser calificado con la denominación genérica de calidad “Agricultura ecológica” y la evaluación de su conservación bajo diferentes condiciones de almacenamiento, para establecer su vida útil. Para alcanzar este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1.- Adaptar el proceso convencional de elaboración del lomo Sajonia para la obtención de un producto calificado como ecológico, 2.- Obtener lomo Sajonia ecológico sin la utilización de nitritos, mediante el empleo de un extracto vegetal, 3.- Estudiar la vida útil bajo diferentes condiciones de almacenamiento del lomo Sajonia elaborado con un contenido reducido en nitritos y la del elaborado con un extracto vegetal, 4.- Estudiar el efecto de la utilización de diferentes recubrimientos antimicrobianos en la vida útil del lomo Sajonia elaborado con un contenido reducido en nitritos y en la del elaborado con un extracto vegetal.

Para ello, a partir de 78 lomos procedentes de cerdos blancos ecológicos, se elaboraron diferentes lotes de lomo Sajonia experimental y se determinaron las pérdidas por cocción, el rendimiento del proceso y las características físico-químicas (pH,  $a_w$ , AR, composición centesimal, contenido en ingredientes y aditivos) y sensoriales (color -L\*, a\*, b\*, C\*, H\*, nitrosilhemocromo, textura -TPA, pruebas de aceptación, pruebas triangulares y pruebas de preferencia con un panel de catadores) del producto. Además, en el Estudio 2, a lo largo del proceso de elaboración, se determinó la flora microbiana, el pH, el contenido en aditivos así como los estados de oxidación de la mioglobina. En los estudios de vida útil, a lo largo del periodo de almacenamiento se estudió la evolución de la flora microbiana, del pH, de la  $a_w$ , de la oxidación lipídica, de L\*, a\* y b\*, de la textura -TPA y se realizaron pruebas de aceptación con catadores entrenados.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede decir que de los tipos de masajeado utilizados en la elaboración de lomo Sajonia ecológico, el masajeado que incluía un trabajo mecánico llevado a cabo a una velocidad de 8

rpm y una etapa de reposo de 21 h, permitió obtener un lomo Sajonia con mayor rendimiento, mayor porcentaje de humedad, menor dureza y mayor cohesividad. Comparando los resultados obtenidos en los lotes experimentales de lomo Sajonia con los obtenidos para el lomo Sajonia comercial, se encontraron diferencias en alguno de los parámetros analizados, aunque en ningún caso supusieron un detrimento de la calidad del producto.

En relación al uso de extractos vegetales como alternativa a la adición de nitritos en la elaboración de lomo Sajonia, los resultados obtenidos indicaron que con el uso de esta estrategia de elaboración se podía obtener un producto cárnico con características similares a las del producto comercial y, excepto en el contenido en nitritos residuales, a las del elaborado según la legislación que regula la producción ecológica. Para solventar este inconveniente se estudió (1) la utilización de diferentes concentraciones de extracto vegetal (1,32, 0,90, 0,48%) y (2) la utilización de diferentes tipos (extracto de vino blanco, extracto de romero salvia y orégano) y concentraciones (0,60, 1,80%) de antioxidantes naturales.

La elaboración de lomo Sajonia con diferentes concentraciones de extracto vegetal no implicó diferencias ni en los resultados obtenidos en los parámetros tecnológicos evaluados, ni en los obtenidos en la evaluación instrumental del color. Por el contrario, sí se detectaron diferencias en el contenido en nitritos y sólo el lote elaborado con un 0,48% presentó valores próximos al establecido en la legislación que regula la producción ecológica. Sin embargo, en la evaluación sensorial, los catadores indicaron claramente su preferencia por el lote elaborado con un 1,32% debido a que presentaba un color rosado más homogéneo y atractivo. Por ello, la reducción del nivel de extracto vegetal a utilizar en la elaboración de lomo Sajonia no se consideró una estrategia adecuada para disminuir los niveles de nitrito residual.

La utilización de diferentes tipos y concentraciones de antioxidantes naturales no implicó diferencias ni en los parámetros tecnológicos, ni en el pH, ni en el color (evaluado de forma instrumental) del lomo Sajonia elaborado con

un extracto vegetal. En relación a los nitritos residuales, en ningún caso se obtuvieron valores que permitieran clasificar el producto como ecológico. La utilización de la concentración más alta de extracto de vino blanco (1,80%) aunque permitió obtener un menor contenido de nitritos, implicó un mayor contenido en nitrato residual. Sin embargo, desde el punto de vista sensorial, el lomo Sajonia elaborado con un 0,60% de extracto de vino blanco fue preferido por los catadores debido a que presentaba un color rosado más intenso y homogéneo.

En relación al efecto de la elaboración de lomo Sajonia con un extracto vegetal sobre su vida útil, los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que la evolución de los recuentos microbiológicos, del pH, de la  $a_w$ , del color y de la oxidación lipídica durante el almacenamiento en oscuridad o en luz, eran similares a la del producto elaborado con nitritos. Sin embargo, en la textura evaluada instrumentalmente se observó que la utilización de un extracto vegetal sólo permitía mejorar la estabilidad de la textura durante el almacenamiento cuando además de un antioxidante natural se utilizaban fosfatos. Este comportamiento también se verificó en la evaluación sensorial realizada con catadores, en la que se estableció que el lote elaborado con nitritos y el elaborado con un extracto vegetal y fosfatos eran aceptables durante 21 días y el elaborado con un extracto vegetal y sin fosfatos durante 14-21 días. No obstante, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la evaluación microbiológica, la vida útil de todos los lotes evaluados se estableció en 14 días tanto cuando eran almacenados en oscuridad como en luz.

Finalmente, la inclusión de diferentes tipos de recubrimientos antimicrobianos (extracto de romero, extracto de romero + *Pediococcus acidilactici*) no implicó una mejora de la calidad microbiológica del lomo Sajonia. Esto podría ser debido tanto a que la cantidad utilizada de estos compuestos no fue suficiente como a que pudieron existir interacciones entre los constituyentes del recubrimiento y los agentes activos de los mismos que disminuyeron su efectividad. En las características físico-químicas y sensoriales, no se observó un efecto destacable del tratamiento aplicado, por lo que en este sentido, estos resultados son positivos desde el punto de vista de la viabilidad

## *Resumen*

---

de la aplicación de los tratamientos con antimicrobianos pero negativos desde el punto de vista de la efectividad ya que no permitieron aumentar la vida útil del lomo Sajonia. Por tanto, para aumentar la eficacia de estos antimicrobianos sin afectar a la aceptabilidad sensorial del lomo Sajonia, sería conveniente la mejora de los recubrimientos utilizados de modo que se puedan incrementar las concentraciones de estos compuestos y su actividad.

## **SUMMARY**

The objective of this Doctoral Thesis was to obtain cooked loin (lomo Sajonia) that could be designated with the denomination quality “Organic Agriculture” and to evaluate the preservation processes of this product.

To achieve this purpose the following partial objectives were set out: 1.- To adapt the conventional manufacture process of cooked loin to obtain a product designated as organic. 2.- To obtain organic cooked loin using a vegetable extract as alternative to the use of nitrite. 3.- To study the shelf life of the cooked loin manufactured with low content on nitrite and the shelf life of the cooked loin manufactured with a vegetable extract under different storage conditions. 4.- To study the effect of using different antimicrobial coatings on the shelf life of cooked loin manufactured with low content on nitrite and on the shelf life of cooked loin manufactured with a vegetable extract.

Different experimental batches of cooked loin were manufactured using 78 loins from organic white pigs. The analyses carried out in all batches were: the cooking loss, the yield, physico-chemical characteristics (pH,  $a_w$ , AR, proximal composition, ingredients and additives content) and sensory characteristics (colour-  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$ , nitrosylhemocrome, texture-TPA and with a sensory panel acceptance tests, triangle tests and preference tests). In addition, when the cooked loin was elaborated using a vegetable extract, microbial counts, pH, additives content and the different myoglobin forms were done during the manufacture process. In the shelf life studies, the evolution of microbial counts, pH,  $a_w$ , fatty oxidation,  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  colour parameters, texture- TPA were evaluated and acceptance tests were performed with trained tasters during the storage period.

Taking into account the results obtained, it could be said that different kind of tumbling used in the manufacture of organic cooked loin, tumbling including mechanical work carried out at a speed of 8 rpm and a resting stage of 21 h, allowed to obtain a cooked loin with higher yield, higher moisture,

lower hardness and higher cohesiveness. Comparing the results obtained in experimental batches of cooked loin to the others obtained from commercial brands, differences were found in some of the analyzed parameters, although in no case it involved a detriment to product quality.

In relation to the use of vegetable extracts as alternative to the nitrite added in the manufacture of cooked loin, the results pointed out that, except for residual nitrite content, the use of this strategy allow to obtain a meat product with similar characteristics to the conventional product and similar to that manufactured according to organic production. In order to decrease the residual nitrite content, it was studied (1) the use of different concentrations of a vegetable extract (1.32, 0.90, 0.48%) and (2) the use of different types (white wine extract, rosemary sage, oregano) and concentrations (0.60 and 1.80%) of natural antioxidants.

The cooked loin manufactured with different concentrations of a vegetable extract did not involve differences in results obtained in technological and colour parameters. The cooked loin manufactured with a 0.48% of vegetable extract was the only one that presented residual nitrite content values close to values established by law in organic production. Nevertheless, in the sensory evaluation, the tasters pointed out a clear preference to the batch manufactured with a 1.32% of vegetable extract due to more attractive pink colour. For that reason, the reduction of the vegetable extract concentration used in the manufactured of cooked loin was not considered a good strategy to reduce the residual nitrite content.

Differences were not found among batches of cooked loins manufactured with a vegetable extract and different types and concentrations of natural antioxidants for the technological parameters, pH and colour. Regarding the residual nitrite content, no batches of cooked loins presented values to be designated as organic product. The use of the highest concentration of white wine extract (1.80%) allowed to obtain lower residual nitrite content, however involved an increase in the residual nitrate content.

From the sensorial point of view, the cooked loins elaborated with 0.60% of white wine extract were preferred by tasters due to their attractive pink colour.

As regards the shelf life of cooked loin manufactured with a vegetable extract, the results showed that the evolution of microbial counts, pH,  $a_w$ , colour and lipid oxidation during storage in darkness or light conditions, was similar to the product elaborated with nitrites. However, the stability of the texture during the storage only was kept when were included a natural antioxidant and phosphates in the manufacture of cooked loin with a vegetable extract. This behaviour was also observed in the sensorial evaluation made by trained tasters. This established that the batch manufactured with nitrites and the batch manufactured with a vegetable extract, a natural antioxidant and phosphates were acceptable during 21 days. However, the batch manufactured with vegetable extract and a natural antioxidant but without phosphates was acceptable during 14-21 days. Nevertheless, taking into account the microbiological results, the shelf life of the whole tested batches was established in 14 days whether they were stored in dark or light conditions.

Finally, the inclusion of different types of antimicrobial coatings (rosemary extract, rosemary extract+ *Pediococcus acidilactici*) did not improve the microbial quality of the cooked loin. An explanation for the observed inactivity of antimicrobials agents evaluated in our study may be because the amount of the extract and the possible interactions which exist between the coating constituents and the active constituents of extract. Regarding physico-chemical and sensorial characteristics, significant effect was not observed due to the treatment applied, in this sense, the application of these treatments was viable. Therefore, it is necessary to develop a more successful application of edible coatings enriched with natural antimicrobials on cooked loin to increase their efficacy without affecting the sensorial acceptance.



---

# I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

---



## **1.1. EL SECTOR CÁRNICO. EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS**

En España, el sector cárnico constituye un sector de primer orden dentro del conjunto de la industria alimentaria. Así, en 2011, de los 67.519,9 millones de euros que alcanzó el gasto alimentario, un 22,98% correspondió a la carne y derivados, estando muy por encima de los otros sectores que conforman la cesta de la compra del consumidor español, como son los productos de la pesca (13,33%), la leche y derivados lácteos (12,61%) o las frutas (9,15%) y hortalizas frescas (7,69%) (MAGRAMA, 2012a).

Según datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2012a), los españoles consumen, principalmente, carnes transformadas (30,13%) seguido de las carnes frescas de cerdo (18,44%), de vacuno (17,56%), de pollo (17,28%), de otras carnes como conejo, despojos, avestruz, pavo y otras aves (10,16%) y de ovino/caprino (6,43%).

Dentro de la industria de las carnes transformadas, los productos cárnicos tratados por el calor representan el principal grupo de producción (Tabla 1), con un volumen del 44,76% del total de los elaborados cárnicos en el año 2009 (ANICE, 2012). La comercialización de estos productos se realiza principalmente en establecimientos en régimen de libre servicio como supermercados (el 48%) e hipermercados (el 17%) según un estudio sobre el consumo de carne y productos cárnicos en España (Martín Cerdeño, 2010).

En un contexto como el actual, determinadas tendencias en el consumo están experimentando un crecimiento importante. El consumidor actual demanda cada vez más propuestas basadas en la salud y en la conveniencia, de ahí la tendencia actual hacia el consumo de productos naturales, ecológicos, bajos en sal, grasas y sin adición de colorantes, aromas ni conservantes (Nunes y Grébol, 2011). En este sentido, se ha producido un aumento de la producción ecológica en España, donde en el 2010 se destinaron

1.674.119 ha a la agricultura ecológica, lo que implicó que se convirtiera en el primer país productor de Europa.

**Tabla 1.** Producción de elaborados cárnicos (T<sub>M</sub>) en España. Fuente: ANICE (2012).

Producto	2005	2006	2007	2008	2009
Jamón y paleta curados	251.345	265.168	270.470	271.900	245.000
Embutidos curados	193.386	192.999	196.280	197.020	185.200
Jamón y paleta cocidos	174.398	178.583	183.050	183.510	175.000
Otros tratados por el calor	355.212	360.540	367.750	382.450	385.000
Productos adobados y frescos	178.165	181.772	183.600	185.400	180.400
Platos preparados	71.105	73.593	77.273	84.220	80.600
<b>TOTAL ELABORADOS</b>	<b>1.223.611</b>	<b>1.252.655</b>	<b>1.278.423</b>	<b>1.304.500</b>	<b>1.251.200</b>

Sin embargo, este hecho no implicó un aumento del gasto interior en alimentación y bebidas ecológicos que fue sólo del 1% lo que representa un consumo per cápita no superior a 20€/habitante/año (MAGRAMA, 2012b).

El consumidor español asocia los productos ecológicos con alimentos naturales y la preocupación por la salud es el primer motivo, tanto para iniciarse en el consumo de alimentos ecológicos, como para continuar con el mismo. La fruta y la verdura son los alimentos ecológicos por los que habitualmente se inicia el consumo de este tipo de productos y representan el 40-45% de la compra de productos ecológicos. Les siguen el aceite de oliva el 10-15%, el vino el 7-9% y las carnes frescas el 6-8% (MARM, 2010). De estos datos se desprende que el grado de implantación de la producción ecológica de

origen animal es sensiblemente inferior al alcanzado por la producción ecológica de origen vegetal, incluso a pesar de la gran superficie de pastos y praderas calificada como ecológica. Tan sólo los sectores ecológicos de vacuno y ovino de carne han logrado un grado de posicionamiento en sus respectivos sectores convencionales, similares a los alcanzados por muchos sectores de la producción ecológica de origen vegetal. En cualquier caso, el grado de implantación de otras producciones ecológicas de origen ganadero como el porcino, es todavía mínimo (MARM, 2010).

Según datos del MARM, la adquisición de los productos ecológicos se realiza habitualmente en hipermercados y los principales motivos por los que no consumen algunas categorías de alimentos son el precio y la falta de disponibilidad de los mismos (MARM, 2011). En este sentido, Rubio y col. (2009) apuntaron que las limitaciones establecidas en la legislación que regula la producción ecológica para determinados aditivos podrían haber frenado la elaboración y comercialización de productos cárnicos ecológicos en España. Hasta el momento, no existen datos estadísticos que reflejen la existencia de productos cárnicos cocidos ecológicos en el mercado español, aunque en 2012 se podía adquirir ya jamón cocido ecológico en las grandes superficies.

Por último, indicar que debido a que el mayor volumen de productos cárnicos cocidos se comercializa a través de la gran distribución, el sector se ha visto obligado a acoplarse a las exigencias de ésta, diversificando su oferta desde el punto de vista de la forma de presentación de los productos. Además, productos que tradicionalmente eran vendidos como charcutería al corte han sido progresivamente sustituidos por envases con el producto en lonchas o raciones, en la cantidad que se desea, refrigerado, en bandejas con atmósferas modificadas o al vacío.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto para mejorar su competitividad, la industria cárnica debería optar por la adecuación de sus productos a través de la mejora de la materia prima y de los procesos tecnológicos para su adaptación a las demandas de los consumidores,

incluyendo el desarrollo de nuevos formatos/presentaciones que también permitan el incremento de la vida útil de los mismos. Por ello, para el desarrollo de esta Tesis Doctoral se seleccionó como producto a estudiar el lomo Sajonia por ser un producto en línea con las tendencias actuales de mercado (es de fácil preparación, puede ser incluido en platos precocinados y en comidas rápidas, admite presentaciones individuales, para restauración colectiva, etc.) y hasta el momento no se comercializa como ecológico.

## **1.2. PRODUCTOS CÁRNICOS TRATADOS POR EL CALOR: LOMO SAJONIA**

Según la Orden de 5 de noviembre de 1981 (BOE, 1981) por la que se aprueba la Norma Genérica de Calidad para productos cárnicos tratados por el calor, se denomina producto cárnico tratado por el calor a “todo producto preparado esencialmente con carnes y/o despojos comestibles de una o varias de las especies animales de abasto, aves y caza autorizadas, que se han sometido en su fabricación a la acción del calor, alcanzando en su punto crítico una temperatura suficiente para lograr la coagulación total o parcial de sus proteínas cárnicas y, opcionalmente a ahumado y/o maduración”.

Según esta norma, los productos cárnicos tratados por el calor, se clasifican en los siguientes grupos:

- **Primer grupo:** productos preparados con piezas de carne identificables correspondientes al despiece normal de carnicería (jamón, contra, babilla, lomo, etc.).
- **Segundo grupo:** productos preparados con trozos de carne no identificables (magro de cerdo o carne de vacuno).
- **Tercer grupo:** productos preparados con piezas esencialmente grasas (panceta y otras partes comestibles).
- **Cuarto grupo:** productos cárnicos tratados por el calor y picados fabricados con carne y grasa, embutidos en tripa natural o artificial,

pudiendo quitar la tripa después de la cocción y con un calibre máximo de 45 milímetros de diámetro.

- **Quinto grupo:** productos cárnicos fabricados con carne o carne y grasa, picados o troceados (mortadelas, chopped, patés de carne, etc.).
- **Sexto grupo:** embutidos crudo curados que se someten a cocción.
- **Séptimo grupo:** productos cárnicos fabricados con hígado como ingrediente caracterizante, picado más o menos finamente (pastas de hígado, patés, etc.).
- **Octavo grupo:** productos cárnicos tratados por el calor, fabricados con sangre como ingrediente caracterizante, procedente de animales de abasto (morcillas, butifarras, etc.).
- **Noveno grupo:** productos cárnicos tratados por el calor, fabricados con vísceras, patas, morros, caretas y otras partes comestibles como ingredientes caracterizantes, procedentes de animales de abasto (callos, cabeza de jabalí, etc.).

Dentro del primer grupo se encuadraría el lomo Sajonia que es un producto cárnico tratado por calor cuyo proceso de elaboración consiste de forma general, en la incorporación de una salmuera elaborada con diferentes ingredientes y aditivos, a lomos de cerdo que, posteriormente, se masajean y cuecen. Opcionalmente puede incluirse dentro del proceso de elaboración una fase de ahumado.

### **1.3. TECNOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL LOMO SAJONIA**

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de la elaboración del lomo Sajonia. Las características de la materia prima, los ingredientes y aditivos incluidos en la salmuera y las condiciones utilizadas en las diferentes etapas del proceso de elaboración van a determinar las características del lomo Sajonia obtenido.

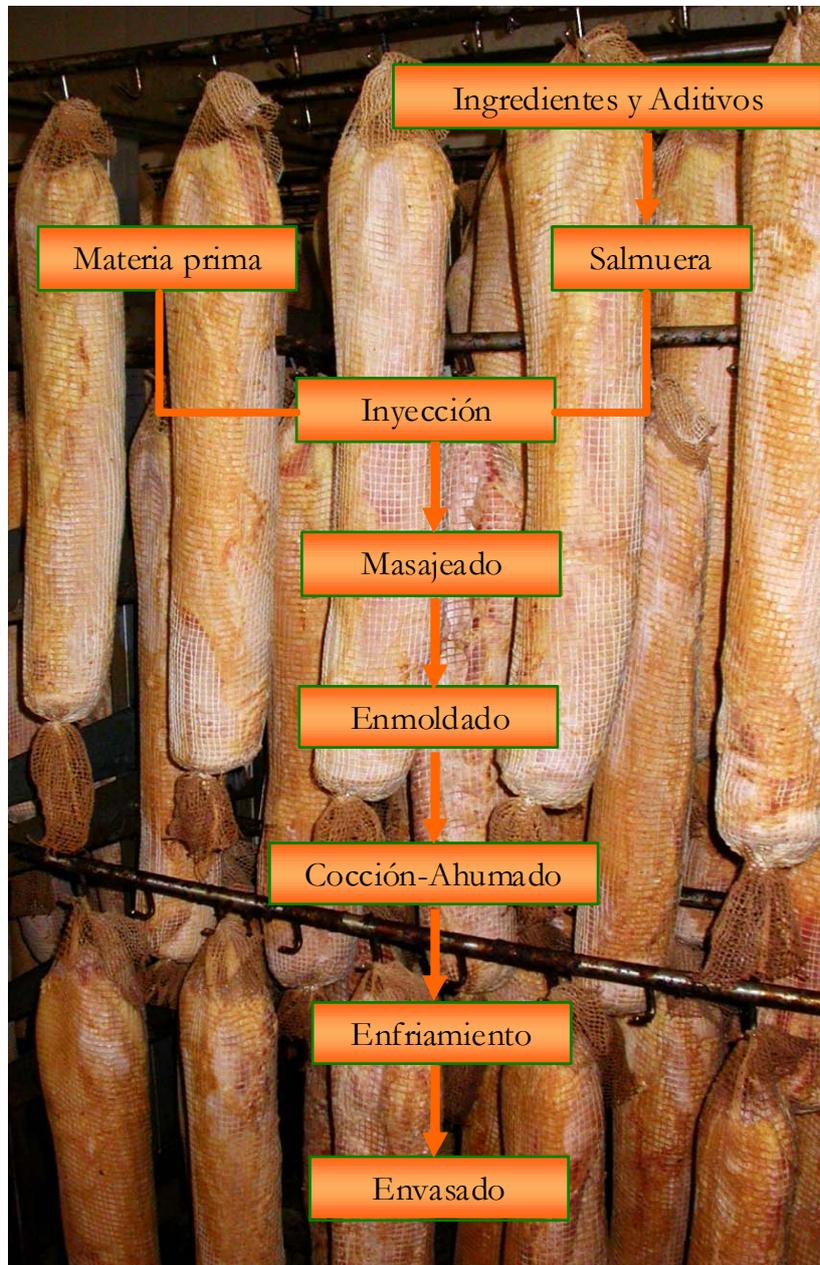


Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración del lomo Sajonia.

### 1.3.1. MATERIAS PRIMAS

Para la elaboración del lomo Sajonia se utiliza el músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (lomo), el cual es extraído durante el despiece de la zona dorsal del cerdo y comprende desde la tercera vértebra torácica hasta la segunda vértebra de la zona sacra (figura 2).

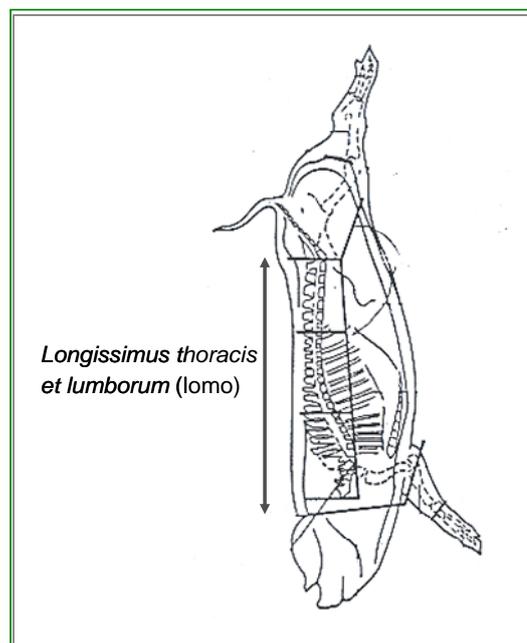


Figura 2. Localización del lomo en la canal del cerdo.

En la elaboración del lomo Sajonia, al igual que en el resto de productos cárnicos, una adecuada selección de la materia prima es fundamental para la obtención de un producto final óptimo. En este sentido, hay dos factores a tener en cuenta: las características microbiológicas de la carne de partida y su aptitud tecnológica para el tratamiento al que va a ser sometida.

La **carga microbiológica inicial** de la materia prima debe estar dentro de los límites establecidos en la legislación vigente (DOUE, 2007a). Dado que

el tratamiento térmico utilizado en la cocción de los productos cocidos (68-72°C) no es lo suficientemente elevado para esterilizar el producto, una carga microbiana elevada en la carne de partida, además de suponer un posible riesgo sanitario, puede dar lugar a una disminución de la vida útil del producto terminado.

En cuanto a la **aptitud tecnológica**, el pH resulta un parámetro esencial para su evaluación, ya que, permite predecir la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne de partida, característica de la que dependerán las pérdidas de cocción y la jugosidad final del producto.

En general, tras el desarrollo del *rigor mortis*, 24 horas después del sacrificio, el pH de la carne ( $pH_{24}$ ) oscila entre 5,4-6,2. Con estos valores, la carne presenta una buena CRA, una buena capacidad emulsificante, un color homogéneo y una estabilidad microbiológica adecuada (Durand, 2002a), por lo que los productos cárnicos cocidos elaborados a partir de la misma se van a caracterizar por una textura blanda y jugosa y un buen rendimiento de fabricación (Mora, 2010). Sin embargo, en ocasiones, durante el desarrollo del *rigor mortis*, se produce una evolución anormal del pH que puede dar lugar a carnes de dos tipos: *a*) carnes DFD (oscuras, firmes y secas) cuando el  $pH_{24}$  es superior a 6,2 y *b*) carnes PSE (pálidas, blandas y exudativas) cuando el  $pH_{24}$  es inferior a 5,4.

Las carnes DFD presentan una mayor CRA debido a que un pH elevado, alejado del punto isoeléctrico de las proteínas, implica que éstas queden cargadas negativamente, lo que origina una repulsión entre ellas que dejan un espacio mayor para las moléculas de agua. Por ello, la utilización de este tipo de carne en la elaboración de productos cárnicos cocidos podría implicar la obtención de un producto final de consistencia blanda, jugosa y de mayor rendimiento (López y col., 2001; Reichert, 1988). Sin embargo, hay que tener en cuenta que las carnes DFD son más susceptibles al ataque microbiano, tanto de microorganismos patógenos como alterantes, lo que conllevaría la obtención de un producto con una vida útil más corta.

Las carnes PSE son carnes en las que se ha producido una desnaturalización de las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas mayor de lo normal (Offer, 1991), por lo que presentan una CRA baja. Esto hace que este tipo de carnes sean inadecuadas para la elaboración de productos cárnicos cocidos ya que, no tienen capacidad para la retención de la salmuera y, por tanto, el rendimiento final será bajo y las características organolépticas del producto final no serán adecuadas.

Determinadas prácticas de fabricación, como la congelación, pueden implicar una modificación de la CRA de las materias primas. La congelación implica cambios estructurales en la carne que provocan daños irreversibles como la desnaturalización y agregación de las proteínas, lo que da lugar a una disminución de la CRA (Luzón y Martín, 2001; Chacón, 2004). Esto hace que la materia prima congelada sea inadecuada para la elaboración de productos cárnicos cocidos.

Finalmente, indicar que tras la selección de la materia prima cárnica, ésta se debe mantener en refrigeración hasta su inyección, a una temperatura de 0-2°C y a una humedad relativa inferior al 90-92% para prevenir la proliferación bacteriana en la superficie (López y col., 2001).

### **1.3.2. INGREDIENTES Y ADITIVOS**

#### **1.3.2.1. Agua**

El agua representa en torno al 85% de la composición de la salmuera y las funciones que desempeña en la elaboración de los productos cocidos son: (1) disolver los distintos ingredientes o aditivos que se utilizan en la elaboración de la salmuera, (2) contribuir a la ligazón de la pieza, (3) atenuar el calentamiento durante la elaboración y (4) aportar un suplemento de peso en el producto final (Marcos Aguiar, 1989).

El agua empleada en la elaboración de los productos cárnicos cocidos tiene que ser potable y, por lo tanto, cumplir los requisitos químicos y microbiológicos establecidos en la legislación vigente (Real Decreto 140/2003,

BOE, 2003). Además, es importante tener en cuenta que el agua no debe presentar un alto contenido en metales (hierro, cobre, etc.) ya que su presencia puede dar lugar a la formación de sales coloreadas que pueden alterar el color del producto final (Fox, 1994). Por otro lado, el contenido en cloro del agua debe ser bajo ya que si se van a utilizar cultivos estériles en la formulación de la salmuera se debe considerar que el cloro es un potente bactericida.

### 1.3.2.2. Sal (cloruro sódico)

La sal o cloruro sódico (NaCl) es uno de los ingredientes habitualmente empleados en la elaboración de productos cárnicos por su acción conservante, debido a que es capaz de reducir la actividad de agua ( $a_w$ ) del producto y, por tanto, de retrasar el crecimiento microbiano. Además, la sal es un agente potenciador del sabor, influye en la CRA y participa en el desarrollo de la textura (Armenteros, 2010).

El **efecto conservador** de la sal está condicionado por la concentración añadida al producto, siendo necesarias cantidades altas para inhibir el crecimiento de gran número de especies microbianas. Actualmente, las concentraciones de sal que se emplean en la elaboración de productos cárnicos cocidos oscilan entre el 1,8 % y el 2 % (Durand, 2002b). Estas concentraciones no son suficientes para ejercer un efecto bacteriostático que, por sí sólo, permita la conservación del producto. Por ello, es necesario el uso de otros conservantes que controlen el crecimiento microbiano y logren inhibir o retardar el crecimiento de bacterias como *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. o *Staphylococcus aureus* (Matthews y col, 2005; Betts y col, 2007).

La contribución de la sal al **sabor** va a depender de la cantidad que se emplee en su elaboración, aunque una misma concentración de sal en diferentes productos no aporta la misma sensación de sabor salado. Esto se debe a factores intrínsecos del producto como la grasa o la formación de complejos entre los aniones Cl<sup>-</sup> y las proteínas que secuestran cierta cantidad de la sal añadida disminuyendo el grado de sabor salado (Armenteros, 2010).

La adición de sal en la carne permite aumentar su **CRA**. La mayor parte del agua presente en la carne se encuentra retenida por fenómenos de capilaridad, entre los miofilamentos de las fibras musculares formados principalmente por actina y miosina (Xiong, 2005). El anión  $\text{Cl}^-$ , procedente de la sal, es capaz de unirse a los grupos cargados positivamente de las proteínas provocando un incremento del número neto de cargas negativas en las proteínas y, por tanto, un aumento de la fuerza iónica del medio. Los fenómenos de repulsión que se producen entre las cargas negativas provocan un aumento del espacio entre las proteínas y, por consiguiente, la expansión de su estructura cuaternaria. De este modo, aumenta su solubilidad ya que los grupos polares de las proteínas quedan libres para unirse a moléculas de agua por medio de fuerzas de Van der Waals, lo que contribuye a un incremento de la CRA (Armenteros, 2010). Sin embargo, es preciso indicar que un elevado aumento de la CRA puede provocar una disminución del agua disponible en la superficie del producto y dar lugar a una disminución de la luminosidad (Fernández López y col., 1994).

El efecto que la sal ejerce en la solubilización y extracción de las proteínas miofibrilares y en la CRA, implica un efecto positivo en la **textura** de los productos cárnicos cocidos. La presencia de sal en la carne provoca un incremento de la fuerza iónica que da lugar a un aumento de la solubilidad de las proteínas miofibrilares. La solubilidad de las proteínas también se ve favorecida durante la etapa de cocción por las temperaturas que se alcanzan, las cuales ocasionan cambios estructurales a las proteínas debido, principalmente, a las interacciones electrostáticas que se producen entre éstas y los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (Xiong, 1997). Una vez solubilizadas las proteínas por el efecto de la sal y de la temperatura, sufren fenómenos de desnaturalización y reorganización que dan lugar a la formación de un gel proteico que contribuye a la ligazón de la masa muscular. Estos fenómenos hacen que la textura y jugosidad del producto se vean mejoradas (Ruusunen y col., 2005).

### 1.3.2.3. Azúcares

Además de la sal, en la elaboración de los productos cocidos es habitual la adición de azúcares. Los azúcares se emplean como depresores de la actividad del agua cuando se incorporan en concentraciones entre el 1-2% lo que favorece la conservación del producto (López y col., 2001).

Los principales azúcares que se utilizan en la elaboración de productos cárnicos cocidos son la sacarosa, la glucosa o dextrosa y los jarabes de glucosa (López y col., 2001). El uso de sacarosa como depresor de la actividad del agua se ve limitado por su elevado poder edulcorante, ya que sólo puede ser utilizada en concentraciones máximas de 0,8-0,9%. La dextrosa presenta un poder edulcorante menor y se puede utilizar en concentraciones del orden del 3% sin afectar negativamente al sabor del mismo. No obstante, se debe tener en cuenta que es un monosacárido simple y, por tanto, de digestión directa para los microorganismos. Para solventar este problema se pueden usar jarabes de glucosa (mezclas obtenidas por hidrólisis de almidones cuyo componente mayoritario es la dextrosa) que son menos atacables por los microorganismos.

### 1.3.2.4. Nitritos

La utilización de nitritos (nitrito potásico-E-249, nitrito sódico-E-250) es una práctica habitual en la elaboración de productos cárnicos debido a las distintas funciones que ejercen, entre las que cabe destacar su acción bactericida y bacteriostática, su contribución al desarrollo del color y flavor del producto final y su efecto antioxidante (Flores y Toldrá, 1993; Sebranek y Bacus, 2007a).

El **efecto antibacteriano** que ejerce el nitrito va a depender del tipo de microorganismo. Su acción más importante es la inhibición del crecimiento de bacterias anaerobias como *Clostridium botulinum* (Sebranek y Bacus, 2007b). Además, contribuye al control de microorganismos como *Listeria monocytogenes* (Sebranek y Bacus, 2007b), *Pseudomonas* spp., *Escherichia. coli* y otros coliformes (García-Herrero, 1994). Sin embargo, los cocos Gram positivos catalasa

positiva (CGC+), los enterococos (*Streptococcus faecium* y *faecalis*), *Staphylococcus aureus* y todas las especies de lactobacilos resisten bastante bien las concentraciones de nitrito que habitualmente se utilizan en la elaboración de productos cárnicos.

La cantidad de nitrito necesaria para un control antimicrobiano efectivo va a depender del tipo de producto siendo el nivel de nitrito residual presente en el producto acabado determinante para impedir el crecimiento de *Clostridium botulinum* (Toldrá, 2006). Por otro lado, la actividad antimicrobiana del nitrito depende de factores como el pH, la concentración de cloruro sódico, la temperatura de almacenamiento y el potencial de óxido-reducción. Estos factores pueden contribuir a potenciar o anular dicha capacidad (Prandl y col., 1994). De hecho, la eficacia del nitrito frente a *Clostridium botulinum* aumenta conforme disminuye el pH pero, por el contrario, disminuye en presencia de hierro (Prandl y col., 1994).

Los mecanismos exactos por los que los nitritos ejercen su actividad antimicrobiana no se conocen con exactitud. Algunos autores han indicado que el nitrito podría ser el responsable de inhibir el crecimiento de *Clostridium botulinum* mediante el secuestro de hierro y otros metales esenciales para el metabolismo de este microorganismo (Payne y col., 1990). También se ha indicado que el nitrito podría interferir con compuestos presentes en la membrana, limitando así el intercambio celular y el transporte de sustratos a través de ésta (Ventanas, 2004). Según Rodríguez (2003), el mecanismo de acción bactericida y bacteriostática del nitrito se basa en la formación de ácido nitroso y óxidos de nitrógeno que actúan sobre los grupos amino del sistema deshidrogenasa de las células microbianas. Estos dos compuestos también podrían actuar de forma específica sobre las enzimas bacterianas responsables del catabolismo microbiano de la glucosa.

Además de la acción bactericida y bacteriostática de los nitritos, cabe destacar su importancia en el **desarrollo del color** de los productos cárnicos. La química del nitrito implicada en el desarrollo del color es complicada, ya que

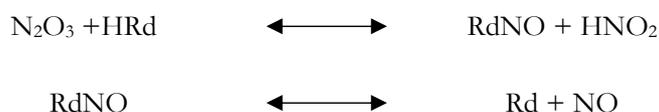
el nitrito no actúa directamente sobre las características de la carne, sino que primero se transforma en varios intermediarios, que darán lugar a óxido nítrico (NO) que es el responsable del desarrollo del color (Honikel, 2004). Según Shahidi y Samaranayaka (2004), en medio ácido se establece un equilibrio entre la sal ionizada y el ácido nitroso (HNO<sub>2</sub>), que depende del pH de la solución:



Al pH normal de la carne este equilibrio se desplaza hacia el HNO<sub>2</sub> que da lugar al trióxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):



En presencia de agentes reductores (HRd) tales como el ácido ascórbico, el ascorbato, grupos reductores endógenos o de determinados compuestos de los tejidos musculares, a partir del N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se puede formar NO:



Por otro lado, el nitrito también puede reaccionar con los grupos sulfhídricos de las proteínas (RSH) y liberar NO a través de una reacción de oxidación-reducción (Sebranek y Bacus, 2007a):



También, la presencia de sal influye en la formación del color de los productos, ya que la sal reacciona con el HNO<sub>2</sub> dando lugar a un compuesto intermediario, el nitrosil clorhídrico (NOCl), que es más reactivo que el N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y va a acelerar el desarrollo del color (Sebranek y Bacus, 2007a):

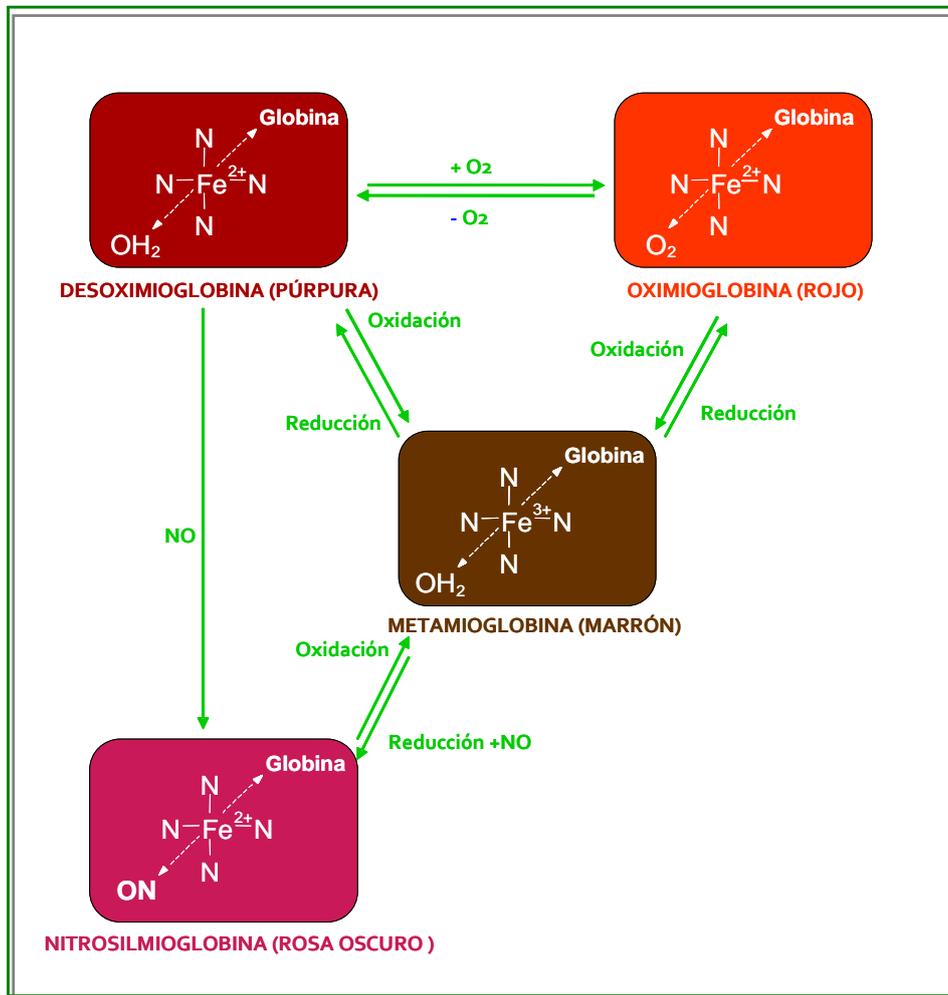


En cualquier caso, el NO formado va a reaccionar con el hierro de la mioglobina de la carne.

La mioglobina (Mb) es la principal proteína responsable del color de la carne y de los productos cárnicos, de modo que la intensidad del mismo está determinada por la cantidad y la forma química molecular de la Mb.

La Mb es una proteína globular monomérica que posee un grupo prostético hémico, constituido por cuatro núcleos pirrólicos coordinados con un átomo central de hierro. El anillo tetrapirrólico comprende cuatro de los seis enlaces de coordinación del hierro, mientras que el quinto está unido a un residuo imidazólico de la estructura proteica. El sexto enlace es susceptible de unirse a un grupo limitado de ligandos, entre los que se incluye el oxígeno (Hood, 1984). El tipo de molécula unida al sexto sitio de coordinación y el estado de oxidación del átomo del hierro (ferroso o férrico) determinan el color (Bekhit y Faustman, 2005).

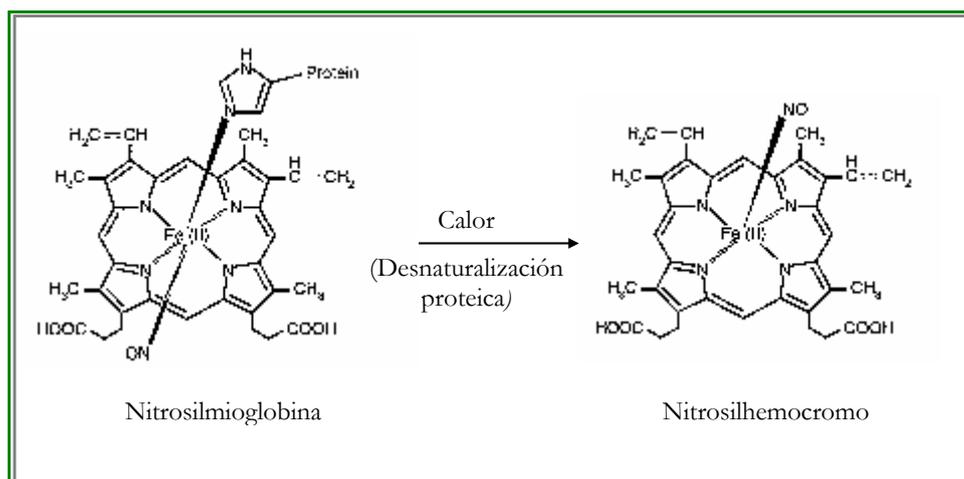
En la carne, cuando el hierro se encuentra en estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) la forma química de la Mb es la desoximioglobina (DMb) de color púrpura, que en presencia de oxígeno da lugar a la formación de oximioglobina (MbO), de color rojo brillante. En el caso de que se produzca la oxidación del hierro a estado férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) se forma la metamioglobina (MtMb), de color marrón. Estas tres formas de la mioglobina (DMb, MbO, MtMb) están en un estado de equilibrio dinámico constante, formando parte de un ciclo en el que por un lado, se produce la oxigenación por la presencia de oxígeno en el ambiente y por otro, reacciones de oxidación y reducción del grupo hemo (figura 3). Cuando se añaden nitritos, el NO formado va a reaccionar con la desoximioglobina y la metamioglobina dando lugar a la formación del pigmento nitrosilmioglobina (Mb Fe (II)-NO), responsable del color rojo de los productos cárnicos (Cassens y col., 1979; Adamsen y col., 2006; Sebranek y Bacus, 2007a).



**Figura 3.** Pigmentos formados a partir de la mioglobina mediante reacciones de óxido reducción y/o la adición de nitritos. (Elaborado a partir de Flores, 2010).

En el caso de los productos cárnicos cocidos, el empleo de temperaturas elevadas durante la etapa de cocción implica la transformación de la MbFe(II)NO en nitrosilhemocromo (figura 4), pigmento responsable del color rosado de los productos cocidos (Ventanas y col., 2004). En las primeras etapas de la cocción (30-50°C), las reacciones responsables de la formación del color se aceleran. A su vez, las proteínas responsables del color se

desnaturalizan y dan lugar a la formación del compuesto nitrosilhemocromo. Dicho pigmento, se estabiliza en la fase final de la cocción a una temperatura aproximada de 65°C, en la que tiene lugar la coagulación de las proteínas, que previamente se han desnaturalizado (Durand, 2002c).



**Figura 4.** Transformación de la nitrosilmioglobina en nitrosilhemocromo durante el tratamiento térmico (Basado en Bard y Townsend, 1978).

Si no se emplean nitritos en la elaboración de los productos cárnicos cocidos, éstos presentan un color marrón ya que no tiene lugar la formación del color rosa característico de estos productos. También, un uso inadecuado de los nitritos, por exceso o defecto en la concentración utilizada, puede dar lugar a la aparición de coloraciones anómalas. Así, cuando la cantidad de nitritos es insuficiente, los productos cárnicos cocidos presentan colores poco intensos, blanquecinos, que no son del agrado del consumidor. El uso de altas concentraciones de nitritos puede dar lugar a la formación de un pigmento porfirínico nitrificado de color verde, que se degrada a porfirinas oxidadas de color pardo, amarillo o decoloradas. Estas coloraciones, se observan cuando los nitrito se añaden en concentraciones de 300 mg/kg (Fox, 1994) y se conocen como “iridiscencias”.

El nitrito participa en el **desarrollo del flavor** característico de los productos cárnicos aunque los mecanismos que dan lugar a dicho efecto son

los menos conocidos de la química del nitrito (Pegg y Shahidi, 2000). Inicialmente, algunos autores defendieron que el flavor específico debido al nitrito se originaba a consecuencia de las reacciones que tenían lugar entre el nitrito con las proteínas cárnicas hidrosolubles y otros componentes de la carne (Wassermann y col., 1972). Posteriormente, otros autores indicaron que este flavor podría ser debido a la reacción del nitrito con determinados componentes del músculo o a la acción desaminante que ejerce el  $\text{HNO}_2$  sobre los aminoácidos (Durand, 2002). Actualmente, el flavor que presentan los productos cárnicos cocidos se atribuye principalmente a la inhibición que ejerce el nitrito sobre la oxidación lipídica, más que a la formación de compuestos aromáticos específicos (Sebranek y Bacus, 2007a).

La oxidación de los lípidos de la carne está catalizada por sistemas enzimáticos así como por el hierro no hemo y el hierro contenido en los pigmentos cárnicos (Ordóñez y col., 1999). El **efecto antioxidante** del nitrito está relacionado con su capacidad de bloquear los iones hierro de los hemopigmentos. La reacción de los pigmentos con el nitrito retiene el hierro en el grupo hemo, a menudo en su forma reducida ( $\text{Fe}^{2+}$ ), lo que hace que no pueda actuar como catalizador (Santos y col., 2004; Sebranek y Bacus, 2007b). Por otro lado, determinados compuestos derivados del nitrito, como el óxido nítrico, presentan actividad antioxidante debido a su capacidad para secuestrar oxígeno (Honikel, 2008).

Finalmente, indicar que los niveles de nitritos a utilizar en la elaboración de productos cárnicos cocidos están regulados legislativamente, estableciéndose la cantidad máxima a adicionar en 150 mg/Kg de nitritos (E-249, E-250) (DOUE, 2008a; DOUE, 2011).

#### **1.3.2.5. Fosfatos**

En la elaboración de los productos cárnicos cocidos, los fosfatos se emplean para aumentar la CRA y, así, reducir las pérdidas de agua producidas durante la cocción. El aumento de la CRA va a implicar una mejora de las características como la estabilidad de la emulsión cárnica, del color, la textura y

del flavor del producto final una protección frente a la oxidación lipídica (Shahidi y Samaranyaka, 2004; Palacios 2003). Además, los fosfatos también actúan como inhibidores del crecimiento microbiano, principalmente de bacterias Gram positivas (Mills, 2004; Belgin y col., 2006).

El efecto que los fosfatos ejercen **sobre la CRA** se atribuye principalmente a los cambios que inducen en el pH y en la fuerza iónica y a su capacidad quelante de iones metálicos divalentes (Palacios, 2003). En la carne, las cadenas polipeptídicas de las proteínas están unidas en sus estructuras terciaria y cuaternaria por enlaces electrostáticos, puentes de hidrógeno, puentes disulfuro y puentes formados por cationes divalentes, especialmente calcio y magnesio. La capacidad de hidratación de la proteína (y, por tanto, su CRA) suele ser tanto mayor cuanto menos compacta sea esta estructura terciaria o cuaternaria, lo que se consigue rompiendo el mayor número posible de estos enlaces (Freixanet, 2010). Por otro lado, el efecto de los fosfatos en la CRA depende de la cantidad y tipo de fosfatos, del producto cárnico en el que se vayan a usar (Fernández-López y col., 2004) así como del porcentaje de cloruro sódico empleado con el que presentan un efecto sinérgico debido a que el cloruro sódico también disminuye los enlaces electrostáticos, aumentando la fuerza iónica del medio. (Palacios, 2003; Ruusunen y Puolanne, 2005).

Los fosfatos favorecen la **solubilización y extracción de las proteínas miofibrilares** responsables de la ligazón. En el transcurso del *rigor mortis*, las proteínas miofibrilares actina y miosina se encuentran en el músculo unidas mediante puentes de calcio formando el complejo actomiosina que es insoluble (Durand, 2002b). Durante la elaboración de productos cárnicos, los fosfatos añadidos disocian el complejo actomiosina, debido a su capacidad complejante, y potencian las propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares, que favorecen la CRA, la emulsión de la grasa y la gelificación (Flores, 2001).

En relación al efecto beneficioso que los fosfatos ejercen **frente a la oxidación** indicar que los polifosfatos quelan metales, como el hierro y el

níquel, catalizadores de las reacciones de oxidación-reducción. Como consecuencia de su efecto antioxidante, los fosfatos participan en la **estabilidad del color** ya que al inhibir la oxidación permiten que la cocción de los productos cárnicos se lleve a cabo a temperaturas elevadas que favorecen la formación de los pigmentos responsables del color característico de los productos cárnicos cocidos (Durand, 2002b).

También el hecho de que los fosfatos participen en la quelación de cationes divalentes, como níquel, cobalto, cobre y zinc, hace que disminuya la actividad de estos cationes como coenzimas en la cadena respiratoria de las bacterias y en la estructura de sus membranas celulares, lo que **inhibe el crecimiento microbiano** (Bourgeois, 2000).

En la elaboración de productos cárnicos, los fosfatos que se utilizan habitualmente son fosfatos alcalinos y sales de sodio o de potasio de los ácidos polifosfóricos (E-450 a E-452). En concreto, en la elaboración de productos cárnicos cocidos, los tri o tetrapolifosfatos (fosfatos de cadena larga) son los más utilizados (Durand, 2002b) debido a que presentan una buena solubilidad, proporcionan el pH apropiado, muestran buena compatibilidad con el calcio y ejercen un gran efecto en la modificación de las proteínas (Shahidi y Samaranayaka, 2004). Por acción de las enzimas musculares, estos fosfatos de cadena larga se degradan a difosfatos (pirofosfatos) (Flores, 2001) que son las formas más efectivas para inducir el aumento de la CRA y de la capacidad emulsionante de las proteínas cárnicas (Mills, 2004).

La utilización de fosfatos para la elaboración de productos cárnicos cocidos está regulada y, en España, la cantidad máxima permitida que puede ser añadida es de 5 g/kg (DOUE, 2008a; DOUE, 2011).

#### **1.3.2.6. Antioxidantes: ácido ascórbico**

El ácido ascórbico (E-300), el ascorbato de sodio (E-301) y sus isómeros, el ácido eritórbico (ácido isoascórbico- E-315) y el eritorbato de sodio (E-316) son los agentes reductores más utilizados en la elaboración de

productos cárnicos cocidos. Su principal función es favorecer la formación de NO a partir de los nitritos añadidos y reducir la metamioglobina a mioglobina, favoreciendo, en definitiva, las reacciones del nitrito (Mills, 2004; Shahidi y Samaranyaka, 2004; Gøtterup y col., 2008). Es importante indicar que, en la fabricación de productos cocidos, la utilización de ascorbato debe hacerse en forma de sal, ya que, a los valores de pH que presentan habitualmente las salmueras (ligeramente alcalinos), la adición de ácido ascórbico implicaría la reacción de éste con el nitrito presente de manera violenta, dando lugar a la formación de dióxido de nitrógeno, gas que se desprende en forma de vapores irritantes de color marrón (Reichert, 1988).

El ácido ascórbico permite además mantener la estabilidad del color de los productos, no tanto por su capacidad como agentes reductores, como porque también pueden actuar como antioxidantes secuestrando el oxígeno (Mills, 2004).

La legislación vigente indica que, en la elaboración de productos cárnicos, el ácido ascórbico y sus derivados se pueden utilizar en dosis *quantum satis* (DOUE, 2008a; DOUE, 2011).

#### **1.3.2.7. Otros antioxidantes**

Durante la elaboración de los productos cárnicos es frecuente la incorporación de otros antioxidantes diferentes del ácido ascórbico para mejorar la estabilidad oxidativa y, así, reducir el desarrollo de reacciones de oxidación durante el procesado (Estévez, 2005).

En función del modo de actuación, los antioxidantes se pueden clasificar en dos grupos: (1) aquellos que actúan previniendo la oxidación y (2) los que actúan frenando su propagación (Mills, 2004; Estévez, 2005). Los primeros, entre los que se encuentra el ácido ascórbico, inhiben la iniciación de la oxidación mediante diferentes mecanismos entre los que se incluyen la quelación de metales, el secuestro de oxígeno y la descomposición de hidroperóxidos. Los antioxidantes incluidos en el segundo grupo actúan como

donadores de átomos de hidrógeno a los radicales libres formados en la etapa de inicio de la oxidación. Dentro de este grupo se pueden encontrar una gran variedad de compuestos tanto sintéticos como naturales. El butilhidroxianisol (E-320), el butilhidroxitolueno (E-321), la terbutilhidroquinona (E-319) y el galato de propilo (E-310) son los antioxidantes sintéticos más utilizados.

En la actualidad, ante la oposición al empleo de aditivos de síntesis se recurre al uso de **productos naturales** con capacidad antioxidante, siendo los antioxidantes más utilizados los procedentes de plantas, bien como extractos o como aceites esenciales. El romero y la salvia son las plantas que presentan mayor actividad antioxidante (Estévez, 2005) y su actividad está relacionada con sus principios activos, el ácido carnósico y el carnosol (diterpenos fenólicos), que secuestran radicales libres. Otros productos naturales como la uva, el vino y el café han mostrado un gran potencial como antioxidantes debido principalmente a la presencia de compuestos fenólicos en su composición (Nissen y col., 2004). Sin embargo, la utilización de plantas o de sus extractos puede verse limitada debido a que, en altas dosis, pueden conferir color, olor y sabor atípicos al producto (Draughon, 2004). Por otro lado, la capacidad antioxidante de estos compuestos puede verse afectada por factores como la temperatura y el pH, por interacción con otros principios activos y por la naturaleza y concentración del antioxidante utilizado (Estévez, 2005). Por ello, es muy difícil predecir su capacidad antioxidante siendo necesaria la realización de estudios en los productos en los que se vayan a incorporar, con objeto de comprobar su eficacia.

Recientemente, se ha incorporado el extracto de romero (E-392) a la Lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios (DOUE, 2008a; DOUE, 2011), permitiéndose la adición de 150 mg/kg de grasa (expresado como la suma de carnosol y ácido carnósico).

### **1.3.2.8. Otros aditivos**

#### **a) Estabilizantes**

Los estabilizantes son sustancias que favorecen el mantenimiento del estado físico-químico de un producto alimenticio inhibiendo reacciones o manteniendo el equilibrio químico de los mismos. Dentro de este grupo se incluyen (García-Gimeno, 2010): (1) sustancias que permiten el mantenimiento de una dispersión homogénea de dos o más sustancias no miscibles en un producto alimenticio (emulsificantes o emulgentes), (2) sustancias que provocan la formación de un gel (gelificantes) y (3) sustancias que aumentan la viscosidad de un alimento (espesantes).

En la elaboración de productos cárnicos es habitual el uso de gelificantes como los **alginatos** (del E-400 al E-404) y los **carragenatos** (E-407), que son polisacáridos formados por cadenas lineales de ácidos D-manurónico y L-glucurónico o por cadenas lineales de galactosa con diversos grados de sulfatación, respectivamente (López y col., 2001). En los productos cárnicos cocidos, los carragenatos son los más usados por su capacidad para retener agua. Las cantidades que se emplean oscilan entre 1 y 5 g/kg en producto terminado y es común el uso de mezclas de carragenatos para que se modifique lo mínimo posible la viscosidad de la salmuera y no se produzcan daños a la estructura muscular de la pieza (Freixanet, 2010).

#### **b) Potenciadores del sabor**

Los potenciadores del sabor son sustancias que, sin modificar el sabor propio del producto, exaltan la percepción olfato-gustativa del mismo. En relación al mecanismo por el que se produce este fenómeno, parece ser que estos compuestos actúan directamente sobre las terminaciones nerviosas haciéndolas especialmente sensibles a los sabores, aunque se ha comprobado que no tienen efecto alguno sobre los cuatro sabores básicos (dulce, salado, ácido y amargo) (Freixanet, 2010).

Dentro de los potenciadores de sabor, el **glutamato monosódico** (E-621), que se produce industrialmente por fermentación de melazas, es el más utilizado. Su uso está regulado legislativamente y la cantidad máxima de glutamato monosódico que se puede utilizar en la elaboración de los productos cárnicos es de 10 g/kg (DOUE, 2011).

### **1.3.3. PREPARACIÓN DE LA SALMUERA**

La salmuera es la mezcla compuesta por agua, sal y otros ingredientes que se introduce en las piezas cárnicas seleccionadas.

Además, para que todos los ingredientes que componen la salmuera cumplan con su finalidad, se deben evitar problemas de solubilidad siendo muy importante el orden de adición de los mismos. En el caso en el que se utilicen fosfatos se recomienda que éstos se adicionen en primer lugar al agua. A continuación, se debe añadir la sal, seguida de los azúcares, los estabilizantes y/o las especias. Después se adicionan los nitritos y, por último, los antioxidantes (Shahidi y Samaranayaka, 2004). De este modo, se evita que diferentes compuestos que forman parte de la salmuera como el nitrito y el ascorbato interactúen entre sí dando lugar a la formación de NO, lo que provocaría su descomposición prematura (López y col., 2001).

Es fundamental, tanto desde el punto de vista microbiológico como tecnológico, que la temperatura de preparación y conservación de la salmuera esté por debajo de 5°C. El agua que se usa en la preparación de la salmuera debe presentar una temperatura próxima a 0°C. A esta temperatura se evita la formación de NO<sub>2</sub> por reacción del oxígeno con el NO, si la salmuera está expuesta al aire durante mucho tiempo. Este hecho implicaría la desaparición de parte del NO provocando alteraciones tanto en el color como en el flavor del producto final (Shahidi y Samaranayaka, 2004).

Además, se debe preparar la cantidad justa y se debe utilizar en el mínimo tiempo posible (López y col., 2001).

#### **1.3.4. INCORPORACIÓN DE LA SALMUERA**

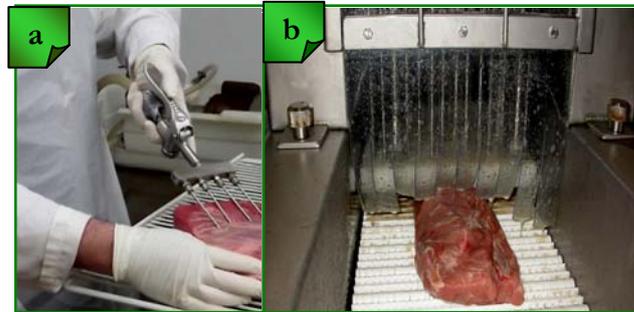
La incorporación de la salmuera en el interior de la pieza cárnica con objeto de conseguir los cambios físico-químicos y biológicos deseados durante las siguientes etapas tecnológicas (masajeado, cocción, etc.), puede llevarse a cabo principalmente mediante dos técnicas: por inmersión o por inyección.

La **inmersión** consiste en sumergir las piezas en la salmuera para que los ingredientes penetren en la carne por difusión a lo largo del tiempo. Esta difusión va a depender del tamaño, de la forma y de la cantidad de grasa de la pieza cárnica, por lo que este método además de requerir tiempos muy largos de proceso, implica un aumento del riesgo de contaminación bacteriana y no proporciona regularidad en la distribución de la salmuera. Por otro lado, la cantidad de salmuera que se incorpora va a estar limitada por la capacidad de absorción de la carne. Todos estos inconvenientes hacen que este método no sea muy empleado para la elaboración de productos cocidos.

La **inyección** consiste en introducir la salmuera directamente en el interior de la pieza mediante un sistema de agujas. Este sistema permite dosificar una cantidad exacta de salmuera, garantiza la homogeneidad en su distribución dentro de la pieza y evita las pérdidas de tiempo que implica la inmersión, por lo que es el método más utilizado.

La inyección puede llevarse introduciendo la salmuera en diferentes partes del tejido muscular usando una inyectora manual (con pocas agujas) o una inyectora automática (figura 5).

La inyección manual, además de implicar una mayor mano de obra, requiere tiempos de procesado más largos, por eso, normalmente, la inyección se realiza mediante una inyectora multiagujas. Con este equipo, la salmuera entra directamente en la carne mediante un sistema de agujas huecas verticales, ordenadas en una o más hileras a lo largo de una banda transportadora, que sirve de soporte de la carne durante la inyección (Domínguez-Fernández, 1997).



**Figura 5.** Diferentes modos de inyección de la salmuera: a) inyectora manual y b) inyectora automática.

La utilización de inyectoras multiagujas permite realizar la inyección a velocidad y presión controlada. En general, la velocidad se ajusta en función del porcentaje de inyección que se desea obtener y la presión se controla para no sobrepasar los 2 bares y evitar rupturas en el músculo que supondrían la formación de huecos en el producto final (López y col., 2001). En estos equipos la disposición y separación de las agujas ha de ser la adecuada para evitar deficiencias y/o excesos de salmuera en la pieza, que darían lugar a coloraciones anómalas o a defectos en la consistencia y/o en el sabor del producto (López y col., 2001).

Habitualmente, las inyectoras multiagujas disponen de un tenderizador, que, antes de la inyección, realiza multitud de cortes en la carne. Este proceso favorece la posterior extracción de las proteínas miofibrilares durante la etapa de masajeado y contribuye a mejorar el rendimiento y la textura en el producto final (Juncá y col., 2004).

En la elaboración de los productos cárnicos cocidos, la cantidad de salmuera que se debe incorporar en las piezas va a depender de la calidad del producto que se quiera obtener. En general, en la elaboración de productos cocidos de calidad extra se utiliza un porcentaje de inyección que oscila entre el 15 y el 20% sobre el peso inicial de la pieza cárnica (Luzón y Martín, 2001).

### **1.3.5. MASAJEADO**

El masajeado es una de las etapas más importantes en el proceso de elaboración de los productos cárnicos cocidos, ya que en ella se produce la extracción y solubilización de las proteínas de la carne, principalmente de las proteínas musculares miofibrilares (actina y miosina), a consecuencia de la rotura de estructuras celulares y de la distribución de los ingredientes de la salmuera. La solubilización de las proteínas miofibrilares va a implicar la formación de una red tridimensional en la que se mantiene retenida el agua, esto supone un aumento de la CRA y, por tanto, del rendimiento y de la jugosidad del producto final (Motycka y col., 1983; Xargayó y col., 1992; Tyszkiewicz y col., 1997). Por otro lado, el masajeado también ejerce un efecto favorable sobre el desarrollo del color, ya que al aumentar la admisión de salmuera aumenta la concentración de aditivos responsables del desarrollo del color. La rotura de las estructuras celulares va a permitir además la migración de pigmentos como la mioglobina, hacia el exterior del músculo lo que ejerce un efecto favorable sobre el desarrollo del color (Fox, 1994).

En función de la intensidad del tratamiento mecánico y de las características del equipo en que se realice el masajeado, éste puede ser de dos tipos: (1) malaxado o masajeado propiamente dicho y (2) amasado. En el **malaxado** las piezas de carne son levantadas por unas palas horizontales hasta la parte superior del bombo desde donde caen golpeándose dentro del equipo. El **amasado** o “masajeado por frotación” es un tratamiento mecánico menos intenso, en el que la carne es movida por palas o brazos agitadores, que giran en torno a un eje vertical, de manera que la carne no experimenta movimientos de caída, solamente existe un frotado del tejido muscular (Reichert, 1988). Habitualmente, en la elaboración de los productos cárnicos cocidos se utiliza el malaxado como tratamiento mecánico. Las características que debe presentar la carne una vez finalizado el masajeado deben ser aspecto brillante y tacto pegajoso.

Los parámetros que se deben controlar a la hora de llevar a cabo el masajeado son la velocidad y la duración del trabajo mecánico, los tiempos de reposo de la carne, si el tratamiento se realiza a vacío o a presión atmosférica y la temperatura (López y col., 2001).

Cuando el trabajo mecánico se realiza a una **velocidad** elevada se obtiene una rotura celular mayor. Sin embargo, no es muy conveniente ya que una desintegración excesiva de las fibras del músculo puede dar lugar a un aumento de las pérdidas por goteo, que puede implicar defectos en la textura. La realización del trabajo mecánico a una velocidad lenta favorece el exudado de las proteínas hacia el exterior y su posterior entremezclado obteniéndose una mejor cohesión entre los músculos y, por tanto, productos cárnicos cocidos con mayor rendimiento (López y col., 2001).

En cuanto a la duración del **trabajo mecánico**, si este es demasiado largo puede provocar la aparición de inclusiones pastosas en el producto final, debido a una excesiva separación de las estructuras musculares (López y col., 2001). Por el contrario, si el tiempo de duración del tratamiento mecánico es corto puede que para que la salmuera no sea totalmente absorbida (Hullberg y col., 2005). Por ello, para obtener un producto de calidad debe aplicarse un masajeado que no sea ni muy intenso ni muy lento, siendo considerado adecuado el uso de 90 min a 3 rpm. (Núñez, 2004).

Habitualmente, en la etapa de masajeado, el tratamiento mecánico se combina con ciclos de **reposo** para aumentar la hidratación y para obtener una mayor imbibición de las fibras musculares y un mayor grado de destrucción de las envolturas conjuntivas de las fibras musculares (López y col., 2001). Además, durante el tiempo de reposo se producen diferentes reacciones entre los compuestos de la salmuera y los de la carne, principalmente entre el NO y la mioglobina, que contribuyen en el desarrollo del color de los productos cárnicos cocidos (Xargayó y Lagares, 2010). El reposo debe ser suficiente para que se lleven a cabo estas reacciones, pero, un tiempo excesivo va a implicar un incremento del coste de producción. Por ello, en la elaboración de productos

cárnicos cocidos son habituales tiempos de reposo de 10-12 h (Núñez, 2004). Según Xargayó y Lagares (2010), un buen efecto del masaje y una adecuada distribución del color se consiguen con un masajeado de 24 h que comprenda un periodo de reposo efectivo de 12-18 h. No obstante, según estos autores, en algunas empresas se siguen utilizando tiempos de reposo de hasta 48 horas para conseguir mejores características organolépticas en el producto final.

Por otro lado es conveniente que el proceso de masajeado se realice **a vacío** para evitar la formación de espuma provocada por la emulsión de proteínas. La espuma puede dificultar el ligado muscular y dar lugar a la aparición de burbujas de aire en los músculos lo que llevaría a la presencia de oquedades en el producto final (Xargayó, 2010).

Respecto a la temperatura indicar que, durante el masajeado es conveniente mantener baja la temperatura para evitar una proliferación bacteriana, que podría afectar a la calidad microbiológica del producto final. Además, cuando la temperatura es elevada se reduce la liberación de proteínas hacia el exterior, y como consecuencia disminuye la ligazón. Se considera que la temperatura óptima a la que debe llevarse a cabo la etapa de masajeado es de 0-2°C, no debiéndose alcanzar en ningún caso temperaturas superiores a 8°C (López y col., 2001).

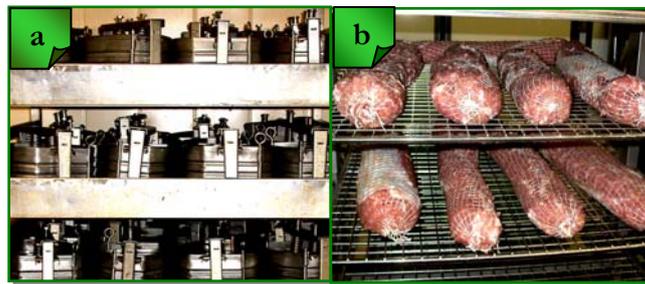
Finalmente, indicar que la composición de la salmuera también puede afectar al resultado obtenido tras el masajeado. Según Xargayó (2010), durante el masajeado la presencia de sal y fosfatos aumenta la fuerza iónica del medio favoreciendo la extracción y la solubilización de las proteínas. Por esta razón, cuando se reducen o eliminan estos ingredientes/aditivos es conveniente modificar esta etapa, con el fin de conseguir un producto final con unas características organolépticas adecuadas.

### **1.3.6. ENMOLDADO**

La finalidad de esta etapa es dar forma y compactar la pieza antes del proceso de cocción. En el proceso tradicional de elaboración del lomo cocido,

en el que la cocción se realiza “**con merma**”, es decir con pérdida de peso, se suelen utilizar **moldes** de aluminio o de acero inoxidable de diferentes formas y regulables en función del tamaño de la pieza (figura 6). En estos casos, para evitar el contacto directo de la carne con el molde, se utiliza un film micro perforado, que facilita la salida de salmuera y compuestos hidrosolubles hacia el exterior. Sin embargo, cuando en el proceso de elaboración se incluye una etapa de ahumado, se suelen utilizar **mallas elásticas** para el enmoldado de las piezas.

En ocasiones, para evitar pérdidas de jugos durante la cocción, es decir, para llevar a cabo una cocción “**con merma cero**”, antes de la colocación de la pieza en el molde, se envasa a vacío en una bolsa de plástico que será el envase definitivo del producto (Domínguez-Fernández, 1997). En este caso se evita la manipulación del producto después de la cocción, lo que hace que la vida útil del mismo sea mayor (López y col., 2001).



**Figura 6.** a) Lomos en moldes de acero inoxidable y b) lomos embutidos en mallas.

### 1.3.7. COCCIÓN

La cocción es el tratamiento térmico al que se someten las piezas una vez enmoldadas y tiene como finalidad (Mora, 2010):

-**Coagular las proteínas cárnicas.** Las proteínas miofibrilares, extraídas por el efecto conjunto de la utilización de determinados aditivos y del proceso de masajeado, se desnaturalizan durante la cocción debido al

incremento de la temperatura. Este hecho provoca una disminución de los espacios intercelulares, una compactación de las fibras desnaturalizadas y la formación de una red tridimensional, capaz de retener agua, lo que confiere una consistencia, dureza y ligado adecuada al producto acabado.

**-Desarrollar y estabilizar el color del producto.** El tratamiento térmico provoca la desnaturalización de la nitrosilmioglobina, que se transforma en el pigmento rosado nitrosilhemocromo, característico de estos productos cárnicos cocidos.

**-Formar las sustancias aromáticas** específicas del producto. En las etapas previas a la cocción se forman diferentes precursores aromáticos (ácidos grasos, triglicéridos, fosfolípidos, péptidos y aminas ácidas, azúcares, etc.), que durante la cocción, mediante diferentes reacciones (oxidación, esterificación, reacción de Maillard, etc.), se transforman en los compuestos aromáticos (aldehídos, cetonas, lactosas, alcoholes saturados e insaturados, furanos, etc.) responsables del flavor característico de los productos cárnicos cocidos.

**-Impedir o retrasar los procesos indeseables de degradación de estructuras biológicas** por inactivación de enzimas. Cuando se alcanzan temperaturas de 60-75°C tiene lugar la inactivación de las enzimas de la carne responsables del deterioro de la textura y consecuentemente, de las características organolépticas del producto (López y col., 2001).

**-Reducir el número de microorganismos** presentes en el producto final y así, aumentar su vida útil. La temperatura que debe alcanzarse en el centro de la pieza cárnica para conseguir una pasteurización adecuada es de 68°C (López y col., 2001).

El tratamiento térmico que implica la cocción puede llevarse a cabo en un horno, donde el medio transmisor del calor es el aire, o en una caldera, en la que el agua es el agente transmisor. Para la elaboración con merma de productos cocidos de calidad es más adecuada la **cocción en horno** ya que, al no estar los productos envasados al vacío, la **cocción en caldera** implicaría un contacto directo entre la carne y el agua y podría dar lugar a problemas desde el

punto de vista microbiológico. Además, cuando el proceso de cocción se realiza con aire y vapor saturado, el reparto del calor es más homogéneo y existen menores pérdidas por calentamiento por lo que las sustancias aromáticas y las vitaminas hidrosolubles se pierden en menor cantidad (Martín, 2002).

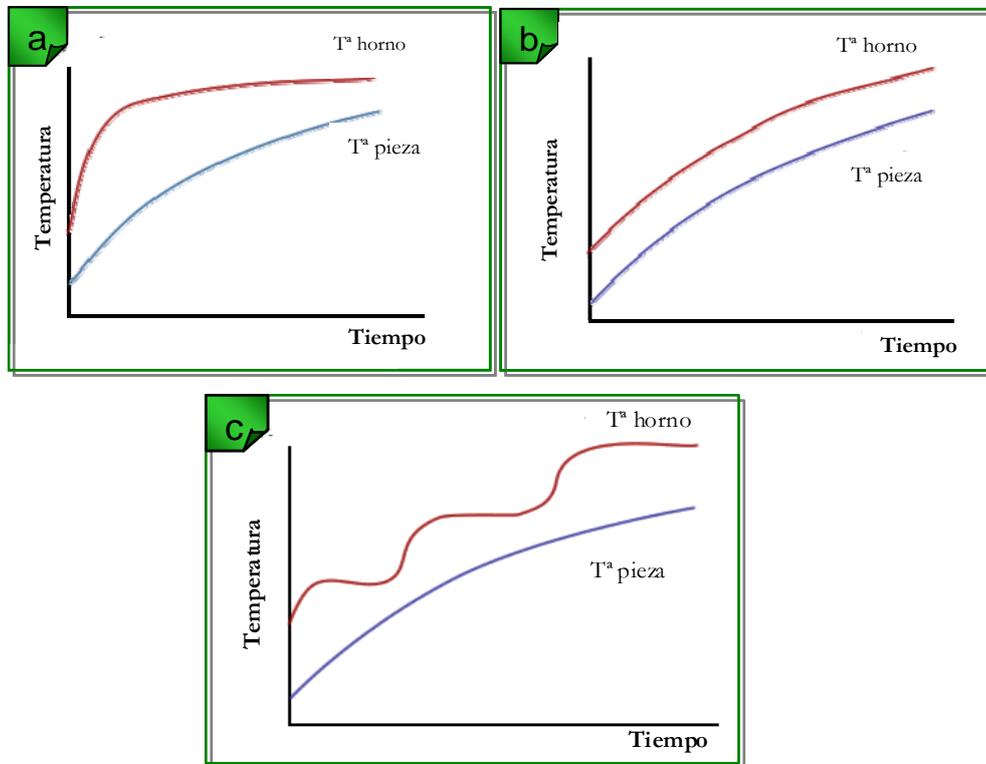
Para evitar la aparición de determinados defectos en las características organolépticas del producto es importante establecer las condiciones más adecuadas de temperatura y de tiempo durante la cocción (Reichert, 1988; Shahidi y Samaranyaka, 2004). En función de como se realice el incremento de la temperatura, se pueden diferenciar varios tipos de cocción (Domínguez-Fernández, 1997):

-Método de cocción a **temperatura constante**. En este método de cocción, la temperatura del medio transmisor o temperatura externa se mantiene constante, a un valor máximo, durante el tiempo necesario para conseguir la temperatura deseada en el centro de la pieza (figura 7a).

-Método de cocción **por incremento continuo de la temperatura**. En este tipo de cocción, que se denomina Delta T, la temperatura externa se incrementa continuamente, modificándose en función de la evolución de la temperatura interna del centro del producto (figura 7b). Se realiza de modo que la diferencia térmica entre el interior del producto y el horno sea de 25-30°C y la temperatura de cocción no sobrepase los 70-75°C (López y col., 2001).

-Método de cocción **por escalonado selectivo de la temperatura**. Este método es intermedio entre los dos anteriores y consiste en realizar el calentamiento total mediante incrementos individuales de temperaturas a tiempos variables. De este modo, se incrementa la temperatura externa de forma escalonada, en varios pasos sucesivos, hasta conseguir la temperatura deseada en el centro de la pieza (figura 7c).

En cualquiera de estos tres tipos de cocción, la temperatura del centro de la pieza es la que delimita el punto final del proceso. Esto implica que la cocción Delta T sea la que conlleve mayor duración de esta etapa.



**Figura 7.** Evolución de la temperatura del horno y de la temperatura en el centro de la pieza a lo largo del tiempo en los diferentes tipos de cocción: a) cocción a temperatura constante, b) cocción por incremento continuo de la temperatura y c) cocción por escalonado de temperatura. (Basado en Domínguez-Fernández y col., 1997).

Por otro lado, a la hora de realizar la cocción es importante tener en cuenta la diferencia de temperaturas entre el exterior y el centro de la pieza ya que una cocción con diferencias de temperaturas bajas implicará que el producto tenga menores pérdidas de agua. En este sentido, el método de cocción por escalonado selectivo permite disminuir la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de la pieza, siendo por lo tanto el más adecuado.

### **1.3.8. AHUMADO**

Para la elaboración de determinados productos cocidos, como el lomo Sajonia, es frecuente incluir dentro de la etapa de cocción, una etapa de ahumado. El ahumado consiste en someter al producto a la acción de los gases que se desprenden de la combustión de diversos vegetales, generalmente maderas. Esta etapa tiene como objetivo aumentar la conservación del producto y modificar de forma agradable cualidades sensoriales como el color, la textura, el aroma y el flavor.

La **acción conservante** del humo es debida a la presencia de un elevado número de compuestos, entre ellos el formaldehído y diversos compuestos fenólicos, que tienen efectos bacteriostáticos y fungistáticos (Prabhakar, 1999).

Respecto a la **coloración típica** de los productos ahumados, ésta es el resultado de la interacción entre los compuestos carbonilos del humo y los grupos aminos de las proteínas de la carne (Durand, 2002d).

A pesar del elevado número de estudios realizados sobre la composición del humo, resulta difícil identificar los componentes químicos responsables del **flavor** típico de los productos ahumados. No obstante, según numerosos autores, algunos compuestos fenólicos como el guayacol, el 4-metil guayacol y el siringol son determinantes para la obtención de este flavor (Girard, 1991; Durand, 2002d). Sin embargo, estos compuestos no son los únicos componentes del humo implicados, ya que la presencia de otros tipos de compuestos como carbonilos, lactonas, furanos y derivados furánicos, modifican el sabor original conferido por los fenoles (Hollenbeck, 1994). Por otro lado, es preciso indicar que este flavor está determinado por compuestos precursores de aromas presentes en el humo y por otros resultantes de reacciones entre estos precursores y los componentes proteicos del producto (Durand, 2002d).

Los parámetros que se deben controlar para llevar a cabo un ahumado adecuado son la humedad y la temperatura. El uso de un porcentaje de

humedad elevado produce un producto de color pálido debido a una adhesión baja de los componentes del humo a la superficie del producto. Por otro lado, un ambiente demasiado seco produce resecación superficial. La utilización de una temperatura alta o baja va a tener los mismos efectos que los descritos para la humedad, es decir, resecación superficial o color pálido, respectivamente (Luzón y Martín, 2001). En los productos cárnicos cocidos, el ahumado se suele realizar en caliente (50-85°C) y con una humedad relativa entre el 50-85%. El tiempo de ahumado varía según las condiciones de temperatura y humedad relativa seleccionadas y de las características organolépticas que se desean obtener en el producto final.

### **1.3.9. ENFRIAMIENTO**

La finalidad del enfriamiento es evitar el crecimiento microbiano y facilitar que las proteínas coaguladas de la carne liguen para que el producto no presente problemas de cohesión.

Una vez que el producto ha sido cocido debe someterse a un proceso de enfriamiento hasta que se alcance una temperatura de 0-2°C en el centro de la pieza. Con el fin de alcanzar rápidamente estas temperaturas, la refrigeración debe ser lo más rápida posible siendo habitual el uso de túneles de enfriado (López y col., 2001). Durante el enfriamiento deben establecerse condiciones de oscuridad, para evitar que la luz tenga efectos negativos sobre el color y la conservación del producto (López y col., 2001).

### **1.3.10. ENVASADO**

Una vez concluido el proceso de elaboración, el lomo Sajonia ha de ser envasado y almacenado en unas condiciones óptimas, ya que sus características (bajo contenido en sal, valores de pH entorno a 6,0 y valores de  $a_w$  superiores a 0,95) no son barreras suficientes para inhibir el crecimiento de los microorganismos (Mataragas y col., 2006), por lo que el producto es susceptible al deterioro microbiológico.

En aquellos casos en los que el producto se elabora sin merma, el producto es distribuido en el mismo envase en el que se lleva a cabo la cocción; sin embargo cuando se elabora con merma debe ser envasado antes de su venta, pudiéndose presentar al consumidor en piezas enteras o medias piezas y venderse al corte o en formatos listos para el consumo como lonchas envasadas.

En el caso de que los productos sean loncheados, la manipulación va a implicar un riesgo de contaminación por microorganismos alterantes que pueden limitar su periodo de vida comercial y/o por microorganismos patógenos que además, pueden producir enfermedades por consumo de estos productos (Rodríguez, 2003).

La forma más habitual de presentar el lomo Sajonia es en lonchas y envasado al vacío.

#### **1.4. IMPLICACIONES DE LA ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA ECOLÓGICO**

Hoy en día, la producción dentro de la producción ecológica se considera una opción para minimizar la percepción negativa derivada de la utilización de determinados aditivos, que algunos consumidores tienen de los productos. El consumidor asocia los productos ecológicos con alimentos naturales, elaborados sin aditivos ni colorantes y considera además que son más saludables (MARM, 2010a).

La elaboración de productos ecológicos tiene como base la agricultura ecológica, cuyos inicios se remontan a comienzos de los años 60. En esta época, los consumidores empezaron a preocuparse por el medio ambiente y por los riesgos que conlleva para la salud el consumo de alimentos tratados con productos químicos como los fertilizantes (Wringht y McCrea, 2002). Por ello, inicialmente el consumo de productos ecológicos se asoció con el consumo de vegetales. En los años 90, el perfil del comprador medio de productos

ecológicos cambió, comenzándose a demandar también carne y productos cárnicos ecológicos (Maunder y Kennard, 2002).

Un producto ecológico es un producto procedente o relativo a la producción ecológica. La producción ecológica se define como “un sistema general de gestión agrícola y producción de alimentos que combina las mejores prácticas ambientales, un elevado nivel de biodiversidad, la preservación de recursos naturales, la aplicación de normas exigentes sobre bienestar animal y una producción conforme a las preferencias de determinados consumidores por productos obtenidos a partir de ingredientes y procesos naturales” (DOUE, 2007b).

La agricultura ecológica se encuentra regulada legalmente en España desde 1989, en que se aprobó el Reglamento de la Denominación Genérica "Agricultura Ecológica", que fue de aplicación hasta la entrada en vigor del Reglamento (CEE) 2092/91 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Actualmente, la producción ecológica se encuentra regulada por los reglamentos: (a) Reglamento (CE) 834/2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y (b) Reglamento (CE) 889/2008 que establece las disposiciones de aplicación del reglamento anterior en producción ecológica, su etiquetado y control.

Conforme a la legislación vigente, la elaboración de lomo Sajonia ecológico va a implicar la utilización de **materia prima ecológica**. Por ello, los cerdos destinados a la producción de carne ecológica deberán gestionarse de acuerdo a la reglamentación de ganadería ecológica. Las explotaciones de ganadería ecológica deben asegurar el bienestar animal, fomentando la diversidad ecológica y la selección de razas con una buena capacidad para adaptarse a las condiciones del entorno. Así, el alojamiento de las especies animales debe responder a las necesidades de los mismos, teniendo en cuenta la ventilación, la luz y el espacio que necesitan para permitir que cada animal pueda moverse libremente y desarrollar su comportamiento innato. La alimentación de los animales debe realizarse a base de pasto, forraje y

alimentos, principalmente de origen ecológico. Por otro lado, respecto a la salud de los animales, se deben tener en cuenta métodos de prevención, mediante la selección apropiada de razas y estirpes, y deben utilizarse tratamientos preferentemente a base de medicamentos fitoterapéuticos u homeopáticos, limitando al máximo la utilización de productos medicinales alopáticos de síntesis química.

También la legislación establece que, en la elaboración de productos ecológicos al menos el **95% de los ingredientes** utilizados deben ser **de origen ecológico**, permitiéndose, en aquellos casos que sea necesario, la utilización de un 5% de compuestos de origen no ecológico (DOUE, 2008b). En el caso de los productos cárnicos se permite utilizar diversas sustancias naturales, como cloruro sódico, preparados a base de microorganismos y enzimas habituales en la transformación de los alimentos. También se permite utilizar minerales, vitaminas, aminoácidos y micronutrientes en aquellos alimentos en los que la normativa haga obligatorio su empleo.

Dentro de los ingredientes de origen no ecológico que se pueden utilizar en la elaboración de productos cárnicos se incluyen determinados aditivos: ácido ascórbico (E-300), ascorbato sódico (E-301) en combinación con el nitrato y/o nitrito, ácido láctico (E-270), lactato de sodio (E-325), citrato de sodio (E-331), alginatos (E 400-402), carragenina (E 407), goma de garrofín (E-410), goma guar (E-412), goma arábica (E-414) y goma xantana (E-415). Sin embargo, se excluye el uso de fosfatos (E-450 y E-452) y aunque se permite la utilización de nitritos (E-250), se reduce la concentración máxima a 80 mg/kg, de modo que la cantidad residual de estos compuestos en el producto final sea como máximo 50 mg/kg. Además, en el Reglamento 834/2007 (DOUE, 2007b), vigente en la actualidad, se indica que el empleo de nitritos se revisaría antes del 31 de diciembre de 2010, con el fin de prohibir su uso. Sin embargo, hasta el momento no se ha legislado nada al respecto, debido probablemente a que aún no se ha encontrado una alternativa para este aditivo.

El **uso de nitritos** en la elaboración de alimentos ha sido continuamente cuestionado ya que estos compuestos pueden actuar como precursores en la formación de N-nitrosocompuestos, como las nitrosaminas, que presentan actividad carcinogénica, mutagénica y teratogénica (López, 2011).

La formación de las N-nitrosaminas en los alimentos puede tener lugar durante su almacenamiento y maduración o en el transcurso de algunos procesos clave en su elaboración, como el tratamiento térmico (López y col., 2002b). Su formación se debe a la presencia de nitratos y/o nitritos, junto con la existencia de unas condiciones idóneas de pH, humedad, etc., necesarias para producirse la reacción de nitrosación.

Los agentes nitrosantes, producidos a partir de las sales nitrificantes, reaccionan con sustratos nitrosables, fundamentalmente aminas presentes en los alimentos. Estas aminas pueden ser constituyentes del alimento, como determinados aminoácidos y aminas biógenas, proceder de especias o incluso de los materiales empleados para el envasado de dichos productos (Sen y col., 1989). En el caso de los productos cárnicos curados la reacción tiene lugar entre los nitritos, añadidos como conservantes y los compuestos aminados constituyentes del músculo, como la creatina o la prolina (Ellis y col., 1998). En relación a los N-nitrosocompuestos presentes en los productos que se someten a un tratamiento térmico, Park y col. (1998) indicaron que la formación de nitrosaminas depende de la cantidad de nitrito añadido, del método de cocinado así como de la temperatura y del tiempo de cocción. La formación de N-nitrosocompuestos aumenta con el incremento de la temperatura y del tiempo de exposición (Ender y Ceh, 1971). Por otro lado, los estudios realizados por Rywotycki (2002) han puesto de manifiesto que el cloruro sódico y los fosfatos aumentan la formación de nitrosaminas en los productos cárnicos. No obstante, es preciso indicar que el 90% de las nitrosaminas volátiles producidas durante la cocción se eliminan por evaporación (Jägerstad y Skog, 2005) y que las nitrosaminas no volátiles son biológicamente inactivas

por lo que no suponen un riesgo para el consumo humano (Lijinsky, 1999; Dietrich y col., 2005).

En diversos estudios se ha observado que la mayor parte de las nitrosaminas encontradas en el organismo humano se sintetizan en el mismo, a causa del consumo de sus precursores, entre ellos los nitratos y/o nitritos (Havery y Fazio, 1985). La síntesis endógena de N-nitrosaminas se ha detectado en la cavidad oral, en el estómago y en la porción distal del intestino delgado y del grueso (Krul y col., 2004). La formación endógena de N-nitrosocompuestos comienza cuando los nitratos son reducidos a nitritos por los microorganismos de la cavidad oral y estos nitritos se transforman después en óxido nítrico en el estómago debido a las condiciones ácidas allí existentes (Craddock, 1992; Mirvish, 1995). El pH ácido del estómago favorece la formación de las nitrosaminas, las cuales dependen también de la concentración de las aminas nitrosables y es directamente proporcional al cuadrado de la concentración de nitrito. Bajo circunstancias específicas, como la gastritis crónica, los nitritos pueden oxidarse en el estómago a agentes nitrosantes y reaccionar para formar N-nitrosocompuestos. Esta reacción se produce con precursores nitrosables, que incluyen una gran variedad de componentes de la dieta tales como aminas secundarias, amidas, proteínas y derivados de urea (Vargas y Taborda, 2006).

A pesar de la capacidad de los nitritos para reaccionar con aminas secundarias y formar N-nitrosocompuestos, en los estudios epidemiológicos llevados a cabo con objeto de determinar la relación existente entre el consumo de nitritos, la formación de compuestos N-nitrosos y el desarrollo de cáncer, no se han obtenido resultados concluyentes (AESAN, 2008). No obstante, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha realizado una evaluación de los nitratos y nitritos ingeridos en la dieta y los ha clasificado en la “Categoría 2A”, que indica que probablemente son carcinogénicos en humanos (IARC, 2010).

Por ello, derivado de los posibles efectos negativos que los nitritos podrían ejercer en la salud, el uso de nitritos se ha regulado para asegurar su efecto inhibidor antibotulínico y un bajo nivel residual.

El **uso de los fosfatos** en la elaboración de alimentos está regulado legislativamente, tanto porque al aumentar la CRA permiten la incorporación de agua en los productos en los que se emplea, como porque su uso puede dar lugar a un incremento del sodio.

Los fosfatos son compuestos preparados a partir del ácido fosfórico que han sido parcial o completamente neutralizados con iones metálicos alcalinos, como el sodio, el potasio o el calcio. El empleo de fosfatos de sodio en la elaboración de productos cárnicos implica un aumento del contenido de sodio en los mismos, ya que la mayoría de los fosfatos de sodio contienen un 30% de sodio, por lo que son considerados, después del cloruro sódico, la segunda fuente de sodio en los productos cárnicos (Ruusunen y col., 2002). Este hecho ha dado lugar a que su uso se relacione con una mayor incidencia de enfermedades cardiovasculares. También se ha indicado que un exceso de fosfatos en la dieta podría influir en la absorción del calcio y del magnesio, lo que podría contribuir al desarrollo de enfermedades óseas (Shahidi y Synowiecki, 1997; Kärkkäinen, 1998).

### **1.5. ESTRATEGIAS PARA SOLVENTAR LAS LIMITACIONES DE LA ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA ECOLÓGICO**

Como ya se ha indicado, la elaboración de productos cocidos ecológicos implica, además de la utilización de materia prima e ingredientes ecológicos, la reducción o eliminación de determinados aditivos. Este hecho conlleva la adaptación del proceso de elaboración de estos productos para minimizar la aparición de defectos debidos al uso de un menor número de aditivos.

### **1.5.1. ESTRATEGIAS PARA SOLVENTAR LAS LIMITACIONES DEL USO DE NITRITOS**

A la hora de reducir o eliminar el uso de los nitritos y/o nitratos es preciso tener en cuenta las funciones tecnológicas que estos aditivos realizan. Como se ha indicado, los nitritos, además de un efecto antimicrobiano frente a microorganismos patógenos como *Clostridium botulinum*, participan en el desarrollo y estabilidad del color, del aroma y del flavor y tienen un efecto antioxidante. Autores como Tompkin y col. (2005) y Sebranek y Bacus (2007a) apuntaron que la adición de una cantidad mínima de nitrito es crítica a la hora de garantizar la seguridad del producto. Es sabido que en los productos cárnicos cocidos, cuando no se añaden nitritos no se desarrolla el color rosado característico, presentando el producto un color pardo, típico de la carne cocida. Lücke (2000a) señaló que, para obtener un color y un efecto antioxidante adecuados, es necesaria la adición de 20-50 mg/kg de nitrito de sodio. Por otro lado, es un hecho aceptado internacionalmente que el aroma y sabor (flavor) de los productos cárnicos tratados con nitritos y/o nitratos tienen unos matices característicos que se mantienen durante su vida útil que no sucede en los productos no nitrificados. Además, los productos que no han sido tratados con nitritos, durante el almacenamiento, desarrollan aromas y sabores extraños que, en la bibliografía científica, se conocen como WOF (Warmed Over Flavor), es decir, aromas y sabores de recocado (Flores, 2010). Por todo ello, la eliminación del uso de nitritos pasa obligatoriamente por la búsqueda de alternativas que cubran las funciones tecnológicas que realizan estos aditivos.

En los productos cárnicos cocidos, el principal problema derivado de la eliminación del uso de nitritos es la no formación del pigmento nitrosilhemocromo y, por tanto, la ausencia del color rosa característico de estos productos. Por ello, gran parte de los estudios realizados hasta el momento se centran en la búsqueda de otros compuestos que participen en la formación y estabilización del color característico que presentan los productos cárnicos en los que se añaden nitritos. Estos estudios se pueden agrupar en

estudios en los que se adicionan pigmentos sintetizados fuera de la matriz cárnica (adición de colorantes naturales o nitrosilhemocromo) y en estudios en los que la formación del pigmento responsable del color se produce en el producto cárnico en ausencia de nitritos (formación de nitrosilmioglobina a través de cultivos iniciadores utilizando o no una fuente natural de nitratos).

Por último, dado que en la legislación que regula la producción ecológica se limita la cantidad residual de nitritos en el producto final, los estudios encaminados a reducir los niveles residuales de nitrito en los productos cárnicos son también de gran interés.

#### 1.5.1.1. Adición de colorantes naturales

Bloukas y col. (1999) en la elaboración de salchichas cocidas con diferentes niveles de nitrito (0, 100, 150 mg/kg), evaluaron el uso de diferentes colorantes: curcumina (E-100), ácido carmínico (E-120), caramelo natural (E-150a), caroteno (E-160a), extracto de pimentón (E-160c) y rojo remolacha (betanina, E-162). Estos autores indicaron que, en relación al color, los mejores resultados se obtenían con el empleo de 14 mg/kg de betanina e indicaron que de este modo se podía reducir la concentración de nitritos añadidos en la elaboración de salchichas de 150 a 100 mg/kg.

También como alternativa al uso de nitritos se ha propuesto el annato (E-160b), que es el extracto que se obtiene del pericarpio de las semillas del árbol tropical bija (*Bixa orellana*), tiene como agentes colorantes la bixina, que es liposoluble y la norboxina que es hidrosoluble. Aunque pertenecen al grupo de los carotenoides, presentan una coloración anaranjada más rojiza que el resto de los carotenoides, por lo que su uso se ha evaluado en productos cárnicos. Zarringhalami y col. (2009) estudiaron el efecto de la utilización de diferentes concentraciones de un extracto de annato (1% norboxina) en salchichas cocidas elaboradas con diferentes concentraciones de nitrito sódico (0, 24-120 mg/kg). Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que, mediante la utilización de este colorante, era posible obtener valores de índice de rojo similares a los del producto elaborado con nitritos (120 mg/kg). No obstante,

estos autores consideraron como mejor opción para reducir los niveles de nitritos y obtener un color aceptable, la utilización conjunta de nitrito sódico (48 mg/kg) y annato (en una proporción 40:60) ya que la inclusión de este colorante implicó un aumento en el índice de amarillo en todas las formulaciones. En este sentido, Freixanet (2010) indicó que la utilización de annato en el jamón cocido, presenta el inconveniente de que al pH de este producto, su coloración es amarilla y, además, es poco estable en presencia de luz y colorea las grasas.

Otro carotenoide evaluado como alternativa al uso de nitritos es el licopeno (E-160d). Østerlie y Lerfall (2005) indicaron que la utilización de fuentes naturales de licopeno (tomate y pasta de tomate) podría ser una alternativa al uso de nitritos ya que permite la obtención de un tono rojo-marrón en carnes fermentadas elaboradas sin nitrito sódico. Sin embargo, Deda y col. (2007) en salchichas cocidas, indicaron que cuando en lugar de nitritos se utilizaban extractos de tomate, éstas presentaban defectos en el color y un mayor índice de oxidación lipídica que las elaboradas con nitritos. Por ello, estos autores propusieron la utilización conjunta de extracto de tomate y una cantidad reducida de nitritos (100 mg/kg) para obtener un color similar a las salchichas elaboradas con 150 mg/kg de nitritos. También, Eyiler y Oztan (2011) indicaron que, en salchichas cocidas, el nivel de nitritos podía ser reducido a 100 mg/kg sin modificar sus características sensoriales utilizando tomate en polvo. A pesar de lo indicado en los estudios anteriores, la utilización de derivados de tomate en productos cárnicos cocidos no es muy recomendable, ya que implica una disminución del pH (Deda y col., 2007; Eyiler y Oztan, 2011), lo que puede afectar de manera negativa a la CRA y al rendimiento, contribuyendo a la aparición de defectos en las características sensoriales del mismo.

Por último, se ha estudiado la utilización de koji rojo como colorante en salchichas. El arroz rojo koji es un arroz fermentado que se produce tradicionalmente en China mediante el crecimiento de *Monascus* spp. en arroz cocido. En este país, además de por sus efectos beneficiosos en la salud, se

utiliza como colorante natural ya que a consecuencia de su metabolismo, estos mohos excretan un pigmento hidrosoluble de color rojo. Liu y col. (2010) evaluaron la utilización del koji rojo como colorante, en la elaboración de salchichas fermentadas crudas en las que se había utilizado una cantidad reducida de nitrito sódico (25 ó 100 mg/kg). Estos autores indicaron que las salchichas elaboradas con 25 mg/kg de nitritos y con 1,5% de koji rojo presentaban un color rojo mucho más oscuro que las elaboradas con 100 mg/kg de nitritos, que presentaban un color rojo claro.

#### **1.5.1.2. Adición de nitrosilhemocromo sintetizado fuera de la matriz cárnica**

Shahidi y Pegg (1990, 1994) y Shahidi (1991) con el fin de conseguir el desarrollo del color rosa característico de los productos cárnicos cocidos, propusieron la utilización del pigmento nitrosilhemocromo, formado a partir de extractos hemínicos de glóbulos rojos de vacuno en presencia de óxido nítrico ó nitrito sódico y de ácido ascórbico. En los productos cárnicos cocidos en los que añadieron este compuesto observaron un color rosa similar al que presentaba el producto elaborado con nitrito sódico. No obstante, estos autores detectaron nitrosaminas en algunos de los productos cárnicos elaborados con el pigmento (Shahidi y Pegg, 1994).

#### **1.5.1.3. Formación de nitrosilmioglobina in situ a través de cultivos iniciadores**

Diversos estudios realizados en sistemas modelo han puesto de manifiesto que en aquellos productos en los que no se añaden nitritos, la formación de la nitrosilmioglobina es posible mediante la utilización de cultivos iniciadores. Esta estrategia ha sido evaluada en productos fermentados.

Arihara y col. (1993) indicaron que algunas bacterias como las del género *Kurthia* spp. y algunas cepas de *Lactobacillus fermentum* eran capaces de convertir la metamioglobina (MtMb) en nitrosilmioglobina (MbFe(II)-NO). Morita y col. (1997) indicaron que *Lactobacillus fermentum* presenta la enzima

óxido nítrico sintasa, que genera NO mediante oxidación de grupos guanidinio de la L-arginina, contribuyendo a la formación del color característico que presentan los productos cárnicos curados. Estos autores (Morita y col., 1998) observaron también que determinadas cepas de *Staphylococcus xylosum* eran capaces de formar nitrosilmioglobina. Más recientemente, Li y col. (2011) han mostrado que, en un sistema modelo, este microorganismo es capaz de transformar metamioglobina en nitrosilmioglobina.

Møller y col. (2003) evaluaron la capacidad de dos cepas de *Lactobacillus fermentum* en comparación con otros cultivos iniciadores comerciales, para generar derivados nitrosilados de la mioglobina en embutidos fermentados y ahumados elaborados sin la adición de nitritos. Estos autores indicaron que en el centro de los embutidos elaborados con *Lactobacillus fermentum* se detectó un mayor contenido de nitrosilmioglobina en comparación con el de los embutidos elaborados con cultivos comerciales, sin embargo, el desarrollo del color fue menor que el de los embutidos elaborados con 60 mg/kg de nitritos. Por el contrario, la concentración de nitrosilmioglobina en la zona externa de los embutidos fue similar en todos los embutidos y comparable a la de los embutidos elaborados con nitritos, lo que estos autores atribuyeron a los compuestos nitrogenados presentes en el humo.

Más recientemente, en la elaboración de salchichas fermentadas cocidas y ahumadas, Zhang y col. (2007) indicaron que la utilización de *Lactobacillus fermentum* como sustituto de los nitritos podría permitir obtener un producto con características sensoriales similares a las del producto elaborado con 60 mg/kg de nitritos. Sin embargo, ante la posibilidad de que la actividad del cultivo cambiara durante la elaboración del producto, estos autores sugirieron la utilización de una pequeña concentración de nitrito sódico junto a *Lactobacillus fermentum*, para garantizar las características del producto.

#### **1.5.1.4. Formación de nitrosilmioglobina in situ a través de cultivos iniciadores utilizando una fuente natural de nitratos**

En diversos estudios se ha evaluado la utilización de extractos vegetales (fuente natural de nitratos) junto con el uso de un cultivo iniciador, con actividad nitrato reductasa, como alternativa al uso de nitritos (E-249, E-250) en la elaboración de productos cárnicos. Entre los productos de origen vegetal evaluados como fuente de nitratos se encuentran el puerro (213-254 mg nitrato/kg), la cebolla (79,4 mg nitrato/kg), la zanahoria (219 mg nitrato/kg) y el apio (2.900 mg nitrato/kg) (Vand Der Schee, 1998; Fista y col., 2004).

Fista y col. (2004) evaluaron la utilización de puerro o cebolla junto con un cultivo iniciador (*Staphylococcus carnosus*) en la elaboración de un embutido fermentado fresco. Los resultados obtenidos en sus estudios indicaron que los embutidos elaborados con puerro presentaban un mayor índice de rojo y unas características sensoriales mejores que los elaborados con cebolla. Por otro lado, en comparación con el producto elaborado con nitritos (100 mg/kg), aunque inicialmente el embutido elaborado con puerro (240 g/kg) tenía un mayor contenido en nitratos y un menor contenido en nitritos, tras 7 días de almacenamiento se obtuvieron niveles muy bajos tanto de nitratos y nitritos en ambas formulaciones. Como inconveniente, los embutidos elaborados con puerro presentaron una mayor pérdida de peso y valores más bajos de pH a partir del día 3 de almacenamiento que los embutidos producidos con la adición de nitrito de sodio. En estudios posteriores, estos autores (Tsoukalas y col., 2011) indicaron que en la elaboración de estos embutidos fermentados la utilización de 0,84% de un extracto vegetal de puerro (que proporciona 75 mg/kg de nitratos) junto con 75 mg/kg de nitrito sódico era una buena alternativa para disminuir al 50% la concentración de nitritos a utilizar en la elaboración de estos productos cárnicos.

Otros autores han evaluado el efecto de la utilización de distintas concentraciones de extractos de apio y zanahoria junto con un cultivo iniciador (*Staphylococcus carnosus*), en las características de diferentes productos cárnicos

cocidos. Sindelar y col. (2007a) indicaron que con la utilización de un 0,20% o un 0,40% de estos extractos (que implicaría la adición de 69 ó 139 mg/kg de nitratos) se podían obtener salchichas cocidas con características sensoriales aceptables aunque, en comparación con el producto elaborado con nitrito sódico (156 mg/kg), la homogeneidad y calidad del color y la firmeza era menor en el producto elaborado con extractos vegetales. En cuanto a los niveles residuales de nitratos y nitritos, en algunos casos fueron superiores a los del producto elaborado con la adición de 156 mg/kg de nitrito sódico.

En jamón cocido, autores como Sindelar y col. (2007b) y Sánchez (2012) observaron que el producto elaborado con 0,20% de extractos vegetales (66-69 mg/kg de nitratos) presentaba características similares al elaborado con nitrito sódico. Sin embargo, Sindelar y col. (2007b), cuando utilizaron un 0,35% de extracto vegetal (120 mg/kg de nitratos) el jamón cocido presentaba olor y sabor a vegetales. En relación al contenido residual de nitritos, indicaron que al aumentar la concentración de extracto vegetal de 0,20% a 0,35% se producía un ligero aumento desde 19,3 a 36,0 mg/kg. No obstante, estos valores de nitritos residuales eran menores que los que presentaba el jamón cocido elaborado con 200 mg/kg de nitrito sódico (63,4 mg/kg). En el contenido residual de nitratos no se observaron diferencias entre el jamón cocido elaborado con 0,20% de extractos vegetales y el jamón cocido elaborado con 200 mg/kg de nitrito sódico, siendo los niveles de nitrato residual de 11,5-19,2 mg/kg.

#### **1.5.1.5. Reducción de los niveles residuales de nitrito**

Diversos estudios han puesto de manifiesto que en los productos cárnicos, tanto la cantidad residual de nitritos como la cantidad de nitrosocompuestos se puede disminuir mediante su reacción con agentes reductores o antioxidantes añadidos en la formulación (Fiddler y col., 1973; Pourazrang y col., 2002; Fernández-López y col., 2004; Aleson-Carbonell y col., 2005; Viuda-Martos y col., 2010b,c).

En este sentido, el grupo de investigación de Viuda-Martos ha estudiado la utilización de productos secundarios de la industria de los cítricos y de diferentes compuestos naturales. La acción que ejercen estos productos en la reducción de los nitritos residuales en los productos cárnicos es debida a su contenido en compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, como los ácidos cinámicos (cafeico o ferúlico) y los flavonoides (hesperidina, narutina, naringina y eriocitrina) (Fernández-López y col., 2004; Aleson-Carbonell y col., 2005; Viuda-Martos, 2010c). Los resultados obtenidos por este grupo indican que es posible una reducción del contenido residual de nitritos en los productos cárnicos cocidos. Así, en mortadela, la utilización de fibra de naranja con aceite esencial de tomillo u orégano supuso una reducción de la cantidad residual de nitritos de 21 mg/kg a 9 mg/kg (Viuda-Martos y col., 2010c). De manera similar, en salchichas cocidas elaboradas con 150 mg/kg de nitritos se logró reducir la cantidad de nitritos de 21,4 mg/kg a 9,4-10,7 mg/kg, al añadir en su elaboración el agua utilizada en la extracción de fibra junto con orégano o tomillo (Viuda-Martos y col., 2009b). También con albedo de limón se redujeron los niveles residuales de nitrito en salchichas cocidas, siendo más eficaz el albedo crudo que el obtenido tras su cocción (Fernández-Ginés y col., 2004; Viuda-Martos y col., 2009a). Como inconveniente, la utilización de estos productos secundarios de la industria de los cítricos implicó también cambios en el color (una mayor luminosidad e índice amarillo y un menor índice de rojo) y una mayor dureza de los productos cárnicos en los que se usó.

Terns y col. (2011) estudiaron la utilización de un extracto de cereza, como fuente natural de ácido ascórbico, en la elaboración de salchichas cocidas con extractos vegetales de apio y zanahoria y distintas concentraciones de un cultivo iniciador. Estos autores observaron que, aunque las salchichas cocidas elaboradas con extracto de cereza presentaron una menor cantidad de nitritos residuales (4,7-7,4 mg/kg) que las elaboradas sin el mismo (11,3-15,0 mg/kg), el contenido residual de nitratos no disminuyó.

Teniendo en cuenta los estudios descritos anteriormente, se puede concluir que los esfuerzos realizados hasta el momento por la investigación

para encontrar alternativas al uso de nitritos en la industria cárnica no han dado los frutos deseados y, en la actualidad, no existen productos alternativos. Por ello, y de acuerdo con los conocimientos científicos actuales, en la fabricación de productos cárnicos, el uso de los nitritos se considera una necesidad tecnológica. En este sentido, la utilización de extractos naturales junto con un cultivo iniciador podría ser una opción a la hora de conseguir un etiquetado blanco aunque no evita el principal inconveniente de la utilización de nitritos, es decir, la presencia de nitritos residuales. Este problema podría ser solventado mediante la utilización de compuestos naturales como el orégano, el romero y el tomillo cuya actividad antioxidante ha sido demostrada (Viuda-Martos y col., 2010a).

#### **1.5.2. ESTRATEGIAS PARA SOLVENTAR LAS LIMITACIONES DEL USO DE FOSFATOS**

Como se ha indicado anteriormente, los fosfatos se emplean en la industria cárnica fundamentalmente por sus efectos positivos en la CRA y en la textura y por ser buenos estabilizadores de las emulsiones cárnicas, aunque es sabido que también retardan la rancidez oxidativa, participan en la estabilidad del color y actúan como protectores frente al crecimiento microbiano (Ünal y col., 2006). En el caso de los productos cocidos que se elaboran a partir de diferentes músculos, la reducción o eliminación de los fosfatos es problemática ya que podría afectar a la cohesión de los músculos y dar lugar a defectos en la textura del producto obtenido. Sin embargo, en el caso del lomo Sajonia, dado que se elabora a partir de un único músculo, el principal inconveniente que implica la eliminación del uso de fosfatos, deriva de que estos compuestos reducen la pérdida de agua y de compuestos hidrosolubles que tiene lugar durante el tratamiento térmico que se aplica durante su elaboración.

Hasta el momento, los estudios realizados para sustituir este aditivo en la elaboración de productos cárnicos no son muy numerosos. Entre las alternativas que se han propuesto se encuentran su sustitución por otros compuestos (sales orgánicas, compuestos de naturaleza proteica o polisacárida)

o el empleo de estrategias de tipo físico como la aplicación de tenderización y masaje.

En algunos estudios se ha evaluado el uso de aditivos como el **lactato sódico** (E-325), **potásico** (E-326) o **cálcico** (E-327) como alternativa o refuerzo de los fosfatos en carnes marinadas o inyectadas. El lactato favorece la proteólisis y la solubilización de las proteínas miofibrilares (Kim y col., 2011); además, se ha asociado con un aumento del pH de la carne que, en general, se traduce en una mayor CRA y menores pérdidas por cocción (Miller, 2010). De los diferentes tipos de lactato, el lactato de sodio es el único permitido en la producción ecológica (DOUE, 2008b). Sin embargo es el menos recomendado, ya que, tanto en preparados de carne como en productos cárnicos cocidos, se ha observado que el aumento del pH derivado de su adición (2-4% lactato de sodio) se traduce en un color más oscuro del magro (Miller, 2010). Además, su uso se ha asociado con atributos sensoriales negativos como un mayor sabor salado, flavor alcalino, sabores asociados a aditivos químicos y sensación de quemazón (Sutton y col., 1997; Miller, 2010).

Las **proteínas e hidrolizados de proteínas** también se han utilizado en la elaboración de productos cárnicos cocidos para aumentar el contenido proteico del producto terminado y por su capacidad para retener agua (Schnepf, 1992; Freixanet, 2010). Sin embargo, en la elaboración de productos cárnicos cocidos la utilización de proteínas implica que el producto pase a ser considerado como de menor calidad, por lo que no sería conveniente utilizarlas como alternativa a los fosfatos.

También se ha evaluado la sustitución de los fosfatos por compuestos de naturaleza polisacárida como el alginato de sodio (E-401), los carragenatos (E-407), las gomas o el almidón.

Ensor y col. (1989), en hamburguesas, indicaron que la utilización conjunta de **alginato de sodio**, carbonato cálcico y lactato implicaba una mayor ligazón y unas menores pérdidas por cocinado en comparación con el producto elaborado sin aditivos. Raharjo y col. (1995), en filetes

reestructurados, observaron que la utilización de alginato de sodio y lactato cálcico implicaba una mayor ligazón y menores pérdidas por cocinado. El alginato de sodio es capaz de formar un gel termoestable mediante uniones intermoleculares entre restos de ácido glucurónico presentes en el mismo e iones calcio (Hong y Chin, 2010), por ello se utiliza junto con una fuente de cationes divalentes, como es el carbonato cálcico y un acidificante débil para acelerar la liberación del calcio; sin embargo, en presencia de cloruro sódico (2-3%) se inhibe la gelificación debida a este compuesto (Lennon y col., 2010).

Diversos estudios han puesto de manifiesto que los **carragenatos** mejoran la textura y las características sensoriales de diferentes preparados de carne y productos cárnicos (Bernal y col., 1987; Stanley, 1990; Pietrasik y Duda, 2000; Cierach y col., 2009; Walsh y col., 2010). El efecto de los carragenatos en la CRA de los geles de proteínas cárnicas como en diferentes tipos de productos gelificados ha sido ampliamente estudiado. Verbeke y col. (2005) observaron que un aumento de la concentración de carragenatos de 0,5 a 2% implicaba un aumento en la CRA en un sistema modelo, basado en el jamón cocido. Sin embargo, otros autores han indicado que la adición de carragenatos puede no tener efecto en la CRA de los geles cárnicos (Bernal y col., 1987; Foegeding y Ramsey, 1987; Barbut y Mittal, 1992), debido a que los carragenatos no participan directamente en la formación del gel proteico, sino que permanecen en los espacios intersticiales favoreciendo la unión del mismo tras el enfriado.

Las **gomas**, que habitualmente son usadas como espesantes en salmuera, también se han evaluado como alternativa a los fosfatos. La goma garrofín, la goma guar y la goma xantana se usan en la elaboración de productos cárnicos cocidos por tener una gran capacidad espesante, sin embargo, no tienen propiedades gelificantes y en concentraciones excesivas pueden dificultar la gelificación de las proteínas miofibrilares, provocando un aumento de la merma en cocción e incluso el desligado de los músculos en el jamón cocido (Freixanet, 2010). También se ha estudiado la utilización de goma de nuez (0,2%) como sustituto de los fosfatos en la elaboración de

salchichas cocidas, observándose que aunque mejora el rendimiento a diferentes niveles de sal (0-3%), su uso implica efectos negativos en el color y la textura del producto sin mejorar la cohesividad del mismo (Somboonpanyakul y col., 2007).

En cuanto al empleo de **almidón** como sustituto de los fosfatos en la elaboración de productos cárnicos cocidos, hay que tener en cuenta que, en general, éstos soportan mal las temperaturas elevadas, las cocciones prolongadas y presentan problemas de retrogradación por lo que se deben utilizar **almidones modificados** (Freixanet, 2010). Lennon y col. (2010) indicaron que la utilización de un almidón modificado comercial en un preparado de carne de ternera permitía obtener una ligazón y unas pérdidas por cocción similares a las encontradas cuando se utilizaban otros agentes de ligado como alginatos o fibrinógeno y trombina. En salchichas cocidas, Ruusunen y col. (2003) observaron que con la utilización de almidón modificado de tapioca se disminuían las pérdidas de peso cuando se freían y a su vez, se mejoraba la unión de agua y grasa.

Finalmente, indicar que en aquellos productos cárnicos cocidos que se elaboran a partir de un único músculo y por tanto, la eliminación de los fosfatos no es tan problemática ya que no se afecta la cohesión del producto, se ha sugerido que una **tenderización y masajeado** adecuados podrían ser suficientes para disminuir las pérdidas por cocción y aumentar el rendimiento cuando no se emplean fosfatos. Según Xargayó y col. (2010) la aplicación de un tenderizado junto con una combinación de tiempo e intensidad de masaje adecuada puede dar lugar a un rendimiento y calidad del producto adecuados.

Como se ha indicado anteriormente, la tenderización consiste en producir multitud de cortes en el músculo para aumentar la superficie de extracción y el masaje en una serie de movimientos de golpeo y/o fricción que favorecen la absorción y distribución de la salmuera y la extracción y solubilización de las proteínas. Motycka y col. (1983) indicaron que al incluir un proceso de tenderización en la elaboración de jamón se producía un aumento

del contenido en proteínas en el exudado de carne de cerdo así como una mejora del rendimiento y de la palatabilidad del producto cocido. También Tyszkiewicz y col. (1997) observaron un aumento de la disponibilidad de las proteínas miofibrilares y un aumento de la capacidad de retención de salmuera en la carne debido a la rotura de la integridad de la estructura producida por la tenderización mecánica.

En cuanto al masajeado, se ha sugerido que un masajeado largo permite aumentar el rendimiento y asegurar la calidad del producto. En este sentido Gillett y col. (1981) observaron que el aumento del tiempo de masajeado (desde 0 a 24 h) realizado de forma continua a 5 rpm aumentaba el ligado, la uniformidad e intensidad del color y la retención de agua del jamón cocido. Otros autores han indicado que en la elaboración de jamones con un bajo nivel de inyección (15%) el masajeado realizado de forma intermitente durante 18 h a 12 rpm permitía mejorar el rendimiento de los mismos (Krause y col., 1978). Lin y col. (1991) observaron que para obtener el mayor rendimiento en la elaboración de jamón cocido reestructurado con bajo contenido en sal era necesario un masajeado a 12 rpm de velocidad durante 15,6 h. Sin embargo, Bedinghaus y col. (1992) indicaron que un masajeado realizado de forma intermitente a 12,5 rpm durante 3 h era suficiente para la elaboración de jamón cocido. Por último, Solomon y col. (1980) apuntaron que la carne de cerdo inyectada con una salmuera al 18% no presentaba una distribución homogénea de los agentes de curado después de 24 horas de reposo y que el contenido de NaCl en el interior de la carne era muy diferente.

## **1.6. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA CONSERVACIÓN DEL LOMO SAJONIA ECOLÓGICO**

La evolución de las tecnologías de envasado se ha visto condicionada por las exigencias del mercado marcadas por las demandas de los consumidores. Hoy en día, se demandan alimentos con un procesado mínimo y con pocos aditivos, de alta calidad pero seguros. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la reducción o eliminación de determinados aditivos como los

nitritos o los fosfatos, además de afectar a la calidad higiénico-sanitaria del producto, implica que éste sea más susceptible al deterioro, tanto microbiológico como físico-químico y sensorial.

En ese contexto, el envase ha pasado de ser un mero recipiente cuyo fin básico era contener al alimento actuando como barrera pasiva que separa el contenido del medio ambiente, a desempeñar un papel activo en el mantenimiento o incluso mejora de la calidad del alimento envasado. Esto ha dado lugar, por un lado a que se haya implantado el envasado en atmósferas protectoras como complemento a la conservación de los productos en refrigeración y, por otro, a la aparición de una nueva generación de envases en la que se incluyen los envases activos y los envases inteligentes. Simultáneamente, se ha producido el desarrollo de otras tecnologías de envasado entre las que cabe destacar el uso de las películas o los recubrimientos comestibles.

#### **1.6.1. ENVASADO EN ATMÓSFERAS PROTECTORAS**

Dentro de las tecnologías de envasado en atmósferas protectoras se pueden diferenciar dos tipos de envasado según los cambios que experimente el ambiente gaseoso que rodea al producto: el envasado al vacío y el envasado en atmósfera modificada (García y col., 2006). El **envasado al vacío** es la forma más utilizada de envasado en atmósfera protectora. Consiste en la eliminación total del aire del interior del envase sin que éste sea reemplazado por otro gas. Esto provoca que se establezca una diferencia de presión entre el interior y el exterior del envase por lo que el material de envasado se adhiere alrededor del producto (Parry, 1995). Los materiales utilizados en el envasado al vacío deben ser materiales plásticos que proporcionen una barrera alta a los gases para mantener el vacío durante la vida útil del producto envasado (Gavara y col., 2003).

Dentro de los diferentes sistemas de envasado al vacío que se pueden encontrar en el mercado para la comercialización de productos cárnicos, los más usados son la bolsa retráctil, la bolsa rígida y el termoformado flexible. El

envasado al vacío en bolsa retráctil o en bolsa rígida puede presentar como inconveniente la aparición de exudados, lo que implica el rechazo por parte del consumidor por presentar un aspecto poco atractivo. Con objeto de minimizar este defecto se ha desarrollado el termoformado, tecnología conocida como envasado al vacío “segunda piel” o VSP (Vacuum Skin Packaging). Este sistema consiste en el recubrimiento del producto, situado en bandejas, con un “film” delgado tras la aplicación del vacío, de modo que se forma una capa protectora casi invisible sobre el producto (Figura 8).



**Figura 8.** Lomo Sajonia loncheado en VSP (Vacuum Skin Packaging).

El VSP además de evitar problemas de exudado, proporciona una apariencia más atractiva del producto y en algunos productos envasados en VSP se ha observado un incremento de la vida útil respecto de la obtenida en el vacío convencional (Pérez-Alonso y col., 2004). Esta tecnología implica un mayor coste frente al envasado al vacío convencional, por ello se destina al envasado de productos con un cierto valor añadido.

El **envasado en atmósfera modificada** consiste en eliminar el aire del espacio de cabeza del envase reemplazándolo por otro gas o mezcla de gases de composición diferente a la atmosférica, pero adecuada a los requerimientos del producto. Dicha mezcla está sometida a cambios continuos a lo largo del periodo de almacenamiento, por la influencia de factores como la “respiración” del producto, los cambios bioquímicos, así como la lenta difusión de los gases

a través del envase (Church, 1994; Parry, 1995; Gavara y col., 2003). Para que esta tecnología sea efectiva es imprescindible un adecuado diseño de la atmósfera interna para que una vez cerrado el envase no se vea modificada la composición de la misma en gran medida. La mezcla de gases más habitual en productos cárnicos cocidos es una combinación binaria de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno (N<sub>2</sub>) (Brennan y Day, 2006). El N<sub>2</sub> es un gas inerte que se utiliza como relleno (García y col., 2006). Por el contrario, el CO<sub>2</sub> es un gas con propiedades bacteriostáticas y fungistáticas. Cuando se usa en concentraciones comprendidas entre 20-60% es muy eficaz frente a bacterias aeróbicas Gram-negativas (*Salmonella*, *Escherichia coli*) y mohos, y en menor medida frente a bacterias Gram-positivas (*Staphylococcus aureus*) y levaduras. Sin embargo, favorece el desarrollo de otros microorganismos como las bacterias ácido lácticas (BAL) (García y col., 2006). Algunos problemas que pueden presentarse por una inadecuada elección de los gases son la aparición de colapso del envase y la formación de exudado debido a la inclusión de un porcentaje muy elevado de CO<sub>2</sub> en la mezcla. Otros inconvenientes que presenta esta tecnología frente al envasado al vacío son que se requiere más espacio para el almacenamiento de los envases y que se incrementa el coste del producto debido al consumo de gases.

Los principales **microorganismos responsables del deterioro** de los productos cárnicos cocidos envasados al vacío o en atmósferas modificadas son aquellos capaces de crecer a temperaturas de refrigeración, como las BAL (Devlieghere y col., 2009). El deterioro de estos productos debido al crecimiento de BAL se manifiesta por el agriado, la aparición de limo, exudado de jugo e hinchazón del envase (Rodríguez, 2003; Marcos, 2007). Otros microorganismos capaces de crecer a temperaturas de refrigeración son determinados patógenos, como *Listeria monocytogenes*, que pueden estar presentes en los productos cárnicos cocidos envasados debido a una contaminación cruzada durante la manipulación (Vermeiren y col., 2006).

La efectividad del empleo del envasado al vacío frente al envasado en atmósfera modificada en los productos cárnicos cocidos, se ha evaluado en

diferentes estudios. En relación al crecimiento de BAL, en jamón cocido loncheado (Andersen y col., 1990; Vermeiren y col., 2006) se ha observado un comportamiento similar en muestras envasadas al vacío y en muestras envasadas en atmósferas modificada (30% O<sub>2</sub>/70% N<sub>2</sub> o 50% CO<sub>2</sub>/50% N<sub>2</sub>). En otros productos cárnicos cocidos, como es el pavo cocido, también se ha observado que los recuentos de BAL y de totales viables a lo largo del tiempo, eran similares en muestras envasadas en atmósferas modificadas (80% CO<sub>2</sub>) y en muestras envasadas al vacío (Pexara y col., 2002). Finalmente, indicar que en los estudios realizados por Viuda-Martos y col. (2010b,c) se observó un mayor recuento de BAL y de totales en muestras de salchichas cocidas y de mortadela, envasadas en atmósferas modificadas que contenían 20% de CO<sub>2</sub> y 80% de N<sub>2</sub>, que en las muestras envasadas al vacío. En cuanto a *Listeria monocytogenes*, en jamón cocido, Beumer y col. (1996) indicaron un efecto similar del envasado al vacío y de la mezcla 30% CO<sub>2</sub>/70% N<sub>2</sub>.

Por otro lado, las características intrínsecas del producto, como el pH, la humedad, el contenido en sal o en azúcares tienen también influencia sobre la velocidad de crecimiento y el tipo de flora de deterioro de los productos cárnicos cocidos (Samelis y col., 2000). De modo similar, el proceso de elaboración puede implicar una selección de la flora de deterioro. Normalmente, en los productos cocidos no ahumados y elaborados de piezas enteras como el jamón, *Weissella viridescens* y *Leuconostoc* son los microorganismos que prevalecen, sin embargo, cuando en el proceso se incluye una etapa de ahumado *Weissella viridescens* compete mejor que *Leuconostoc* (Samelis y col., 2000).

Además del crecimiento microbiano, otro tipo de alteraciones que pueden afectar a los productos cárnicos cocidos son las derivadas de reacciones bioquímicas y de procesos de oxidación, que se manifiestan como cambios en el color y aparición de olores y sabores extraños (Rodríguez, 2003). Andersen y col (1988, 1990) evaluaron diferentes condiciones de almacenamiento sobre jamón cocido loncheado envasado al vacío o en atmósferas modificadas (100% CO<sub>2</sub>) e indicaron que los niveles de O<sub>2</sub> residual en los envases debe de ser bajo

para evitar la decoloración del jamón inducida por la luz, cuando el producto se almacena simulando condiciones de venta en los lineales. Para conseguir bajos porcentajes de O<sub>2</sub> residual indicaron que es necesario realizar un buen vacío y utilizar plásticos de envasado con una baja permeabilidad al O<sub>2</sub>. Møller y col (2000) establecieron que, en jamón cocido envasado con una mezcla de 20%CO<sub>2</sub>/80%N<sub>2</sub>, inicialmente, en el espacio de cabeza la concentración límite de O<sub>2</sub> residual debía ser de 0,1-0,5% para evitar la decoloración del producto inducida por la luz. Smiddy y col. (2002), que evaluaron el contenido de O<sub>2</sub> en envases comerciales de productos cárnicos cocidos cuya mezcla de envasado era 30% CO<sub>2</sub>/70%N<sub>2</sub> encontraron que el 49,8% de los envases presentaban concentraciones de O<sub>2</sub> superiores a 0,5% el día 1 de envasado. Este hecho lo atribuyeron a que la permeabilidad del “film” se puede ver modificada debido al aumento de temperatura generada por la luz de los murales expositores. Larsen y col. (2006) indicaron que un nivel de O<sub>2</sub> residual de 0,15% y un “film” de envasado con una permeabilidad inferior a 0,04 ml O<sub>2</sub>/pKg ×24h permitía mantener estable el color del jamón cocido envasado en atmósfera modificada (100%N<sub>2</sub>) durante 20 días de almacenamiento.

### **1.6.2. ENVASES ACTIVOS/INTELIGENTES**

Las tecnologías de envasado activo e inteligente constituyen una alternativa plenamente aceptada y con excelentes perspectivas de futuro para la mejora de la calidad y el aumento de la vida útil de los alimentos.

Se entiende por **envasado activo** un sistema alimento/envase/entorno que actúa de forma coordinada para mejorar la seguridad y calidad del alimento envasado y aumentar, así, su vida útil (Catalá y Gavara, 2006). En general, el objetivo del envase activo es proteger al alimento envasado frente a los agentes responsables de la alteración física, química, enzimática o microbiológica mediante interacciones beneficiosas creadas entre el alimento y el envase. En función de la forma de actuación, los sistemas activos pueden ser clasificados en absorbedores y emisores (Garde, 2010). Los absorbedores eliminan sustancias no deseadas como O<sub>2</sub>, exceso de agua, etileno, CO<sub>2</sub>, olores y sabores

anómalos, etc. (Catalá y Gavara, 2006). Los emisores aportan activamente al alimento envasado sustancias como CO<sub>2</sub>, agua, antioxidantes o antimicrobianos.

La funcionalidad de los envases activos puede alcanzarse mediante diferentes procedimientos. La forma más usual consiste en introducir un elemento externo (una pequeña bolsa, sobre o etiqueta) que contiene una sustancia activa en el interior del envase. El material polimérico con el que se construye dicho elemento debe ser lo suficientemente permeable para permitir la liberación y/o actuación del principio activo, pero sin entrar en contacto con el producto. Este sistema ha constituido la primera generación de envases activos y una técnica ampliamente implantada (Rooney, 1995).

Otra alternativa es la introducción del principio activo en el propio material del envase, bien formando parte del polímero o bien incorporado por medio de algún componente del mismo (Kruif y col., 2002). Esta es la forma más atractiva para el consumidor, que no encuentra nada extraño en el interior del envase que pueda llamarle la atención y hacerle dudar sobre la calidad sanitaria del alimento que va a consumir, por lo que, sin duda, se generalizará en el futuro.

En cuanto a la naturaleza de los agentes activos que pueden ser incorporados en los envases activos es muy diversa: ácidos orgánicos, enzimas, nutrientes, extractos de plantas, componentes aromáticos, bactericidas, fungicidas, antioxidantes, etc. Con su incorporación en el envase se trata de controlar diferentes problemas de deterioro o mejorar la calidad de los alimentos (Almenar y col., 2006; Catalá y col., 2008).

En general, el término envase activo suele aparecer junto al de envase inteligente. Estos términos se han usado en muchas ocasiones como sinónimos, cuando realmente se refieren a conceptos diferentes, aunque muy próximos ya que estos tipos de envase pueden ser complementarios. Un **envase inteligente** es aquel capaz de efectuar una función inteligente como detectar, mostrar, registrar o comunicar información sobre el estado del

alimento envasado o en el entorno de éste, para facilitar una toma de decisiones que permita extender la vida útil, aumentar la seguridad, mejorar la calidad o prevenir problemas (Catalá y Gavara, 2006). El envase inteligente implica siempre al sistema completo alimento/envase/entorno, de forma que el envase analiza el sistema, procesa la información y la presenta, sin ejercer generalmente ninguna acción.

Los envases activos e inteligentes se han ido introduciendo comercialmente, sobre todo en Japón, Australia y Estados Unidos. En Europa, la difusión de estas tecnologías ha sido mínima hasta fechas recientes, si bien cabe esperar una rápida expansión tras la aprobación del nuevo Reglamento CE N° 450/2009 sobre materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con el alimento. De momento, sólo se comercializan algunas aplicaciones de envases activos para el envasado de carne fresca como absorbedores de O<sub>2</sub>, emisores de CO<sub>2</sub> y reguladores de humedad (Garde, 2010).

### **1.6.3. PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

De acuerdo con Krochta y de Mulder-Johnston (1997), una película comestible se define como aquella capa delgada de material comestible formada sobre un alimento como un recubrimiento o colocada sobre o entre los componentes de los alimentos. En general, cuando se habla de películas se hace referencia a las preformadas y cuando se habla de recubrimientos a las películas que se forman directamente sobre el producto.

Las funciones que van a ejercer las películas y los recubrimientos comestibles son inhibir o reducir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas, lípidos, pigmentos; servir como vehículo para aditivos alimentarios tales como antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes y colorantes y mejorar la integridad mecánica y el manejo del alimento (Cha y Chinan, 2004).

En un futuro, las películas y los recubrimientos comestibles podrían representar una alternativa a los materiales comerciales de envasado que se emplean en la industria alimentaria pues, desde el punto de vista de protección del medio ambiente, provienen de fuentes naturales, son biodegradables y su uso reduce significativamente los residuos generados con el envasado, características acordes con los principios de la producción ecológica. Sin embargo, es importante señalar que, de momento, los materiales comestibles son un complemento a los sintéticos, ya que su utilidad se basa en su capacidad para extender su vida útil y ofrecer protección al alimento una vez abierto el envase (Cha y Chinan, 2004; Quintero, 2006).

#### **1.6.3.1. Componentes**

Las propiedades de las películas y de los recubrimientos comestibles van a depender de los compuestos empleados en su fabricación. Los más frecuentes son polisacáridos, lípidos y proteínas o combinaciones de ellos. Además de estos componentes básicos, se incluyen agentes de entrecruzamiento y plastificantes y/o ingredientes funcionales (García y col., 2004).

##### ***a) Polisacáridos***

Los polisacáridos que se pueden utilizar para formar películas y recubrimientos son derivados de celulosa, almidón y derivados de almidón, agar, dextrinas, pululano, carragenatos, pectinas, alginato y otras gomas (Kuorwel y col., 2011). Estos recubrimientos son hidrofílicos y, por tanto, no ejercen efecto barrera frente al agua, aunque sí son buenas barreras frente al O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> por lo que podrían proporcionar protección frente a la oxidación de lípidos y otros componentes (Kester y Fennema, 1986).

##### ***b) Lípidos***

Dentro de los lípidos empleados para elaborar películas y recubrimientos comestibles se encuentran ceras de abeja, triglicéridos,

monoglicéridos acetilados, ácidos grasos, alcoholes y ésteres de ácidos grasos de sacarosa. Debido a su hidrofobicidad, se emplean como barrera al vapor de agua, siendo las películas elaboradas a partir de ceras las más resistentes (Quintero, 2006). Sin embargo, este tipo de películas presenta problemas de control de homogeneidad, grosor, superficie grasosa, ruptura y proporcionan sabor (Gennadios y col., 1997).

***c) Proteínas***

Para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles pueden emplearse proteínas de origen animal y vegetal tales como colágeno, gelatina, proteínas miofibrilares de pescado, queratina, proteínas del huevo, caseína, proteínas de aislado de suero de leche, zeína de maíz, gluten de trigo, proteína de soja o proteína de cacahuete (Quintero, 2006). Al igual que las películas o recubrimientos comestibles elaborados a partir de polisacáridos, presentan buenas propiedades barrera frente al O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub>, pero no frente al agua (Cha y Chinann, 2004).

***d) Agentes plastificantes***

Los agentes plastificantes tales como glicerol, sorbitol, manitol, propilenglicol y polietilenglicol se incorporan a las películas comestibles para mejorar las propiedades mecánicas, ya que debilitan las fuerzas moleculares entre cadenas de polímeros adyacentes (Quintero, 2006).

***e) Ingredientes funcionales***

La aplicación más innovadora de las películas y recubrimientos comestibles es su empleo como matrices portadoras de distintos ingredientes capaces de mejorar la calidad de los alimentos y su funcionalidad (Martin-Belloso y col., 2009). La funcionalidad de las películas y recubrimientos comestibles puede ser mejorada incorporando agentes como antimicrobianos, antioxidantes y saborizantes.

Durante la última década, la investigación sobre películas y recubrimientos comestibles portadores de agente antimicrobianos se ha incrementado notablemente (Fernández-Pan y Maté, 2011). Los **antimicrobianos** son compuestos químicos que añadidos a los alimentos retardan el crecimiento microbiano o causan la muerte de los microorganismos alterantes o patógenos presentes en él. Se pueden clasificar en dos grupos: agentes antimicrobianos sintéticos y agentes antimicrobianos naturales.

Dentro de los agentes antimicrobianos sintéticos, los ácidos orgánicos son los más ampliamente usados debido a su eficacia. La actividad de los ácidos orgánicos es dependiente del pH del alimento y de la capacidad de disociación del ácido. Generalmente, el uso de ácidos orgánicos se restringe a alimentos con un pH < 5,5 (Raybaudi y col., 2006).

Los agentes antimicrobianos naturales pueden clasificarse por su origen animal, vegetal o microbiano. Entre los de origen vegetal y microbiano, los extractos de especias o plantas, los aceites esenciales y las bacteriocinas o los microorganismos productores de las mismas son los que han suscitado mayor interés para su aplicación en carne y productos cárnicos.

Zhang y col. (2009) evaluaron *in vitro* la actividad antimicrobiana de diferentes extractos de especias y de sus mezclas, indicando que la mezcla de extracto de romero y regaliz era la más efectiva frente a los microorganismos patógenos y alterantes típicos del jamón cocido. En carne, también se ha puesto de manifiesto la eficacia del aceite de lino y del aceite de orégano (Goswani y col., 2009; Zinoviadou y col., 2009). Gill y col. (2002) obtuvieron buenos resultados al utilizar aceite de cilantro en jamón cocido. Lim y col. (2010) utilizaron carvacrol (componente del orégano) en jamón cocido y observaron que dicho compuesto era capaz de reducir los recuentos de *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y de *Salmonella typhimurium*.

Las bacteriocinas son péptidos catiónicos de origen bacteriano con propiedades hidrofóbicas que, normalmente, actúan a nivel de la membrana de las bacterias (Tiwari y col., 2009). En general, para la conservación de los

alimentos se utilizan las bacteriocinas procedentes de las BAL, que son estables a pH ácido o neutro y tienen buena adaptación al entorno natural de las bacterias que las producen (Vásquez y col., 2009). Entre las bacteriocinas más utilizadas se encuentran la nisina y la pediocina.

La nisina es la bacteriocina sobre la que se han realizado más trabajos de investigación acerca de su uso para conservación. La nisina es soluble en medio acuoso y muy estable en medio ácido. Posee una acción inhibitoria sobre las bacterias Gram positivas pero no actúa ni sobre las bacterias Gram negativas ni sobre los mohos y las levaduras (Pastor, 2010).

La pediocina es producida por cepas de *Pediococcus acidilactici* y de *Pediococcus pentosaceus* y, también está reconocida como GRAS. En la bibliografía consultada, los estudios realizados con esta bacteriocina, aunque son más escasos también muestran su acción inhibitoria sobre bacterias Gram positivas y sobre *Listeria monocytogenes* (Berry y col., 1991; Nieto-Lozano y col., 2006).

Un modo de incorporar las bacteriocinas al alimento consiste en la inoculación directa de las bacterias productoras de las mismas, siendo importante que la cepa bioprotectora mantenga su capacidad en el medio en el que se incorpora. En este sentido, *Pediococcus acidilactici*, microorganismo que se utiliza habitualmente como cultivo estándar en la elaboración de embutidos, es una de las BAL con capacidad para producir bacteriocinas y con capacidad antimicrobiana para su aplicación en la industria cárnica. Benito y col. (2007) demostraron en ensayos *in vitro* la actividad antimicrobiana de *P. acidilactici*. Olaoye y Dodd (2010) en carne almacenada a 30°C observaron que cuando se inoculaba este microorganismo se producía una reducción en los recuentos totales, de *Staphylococcus*, de enterobacterias, de coliformes, y de mohos y levaduras. En relación a *Listeria monocytogenes*, estos autores, en estudios de “challenge test” (inoculación de 6 log cfu/g) observaron que el tratamiento con *Pediococcus acidilactici* permitía obtener una reducción de 2 log.

Por último, también indicar que el uso de extractos naturales combinado con la biopreservación en recubrimientos comestibles podría

proporcionar una seguridad adicional y un aumento de la calidad de los productos cárnicos listos para el consumo (Theivendran y col., 2006).

### **1.6.3. 2. Aplicaciones en la industria cárnica**

Los recubrimientos y películas comestibles elaboradas a partir de polisacáridos se han aplicado con éxito para mantener la calidad de la carne, tanto fresca como congelada y de los productos cárnicos cocidos (Krochta y de Mulder-Johston, 1997). Según Gennadios y col. (1997), los recubrimientos y películas elaborados a partir de geles de alginato, solos o en combinación con almidón, reducen las pérdidas por goteo y la aparición de aromas indeseables en productos crudos y cocidos mejorando el color y la textura. Por otro lado, se ha demostrado la efectividad del empleo de recubrimientos elaborados a partir de gluten y proteínas de soja frente a la oxidación en productos cárnicos cocidos (Wu y col., 2000).

Actualmente, en la industria cárnica, el interés se centra en el desarrollo de recubrimientos elaborados a partir de polisacáridos o proteínas que incluyan componentes activos. La aplicación de este tipo de **películas o recubrimientos comestibles activos** podría ser especialmente útil para la conservación de los productos cárnicos loncheados, ya que en ellos la contaminación microbiana se produce principalmente en la superficie, debido a la manipulación de los mismos tras el procesado.

En este sentido se han realizado numerosos estudios. Ouattara y col. (2000) elaboraron películas antimicrobianas en las que incluyeron varios ácidos orgánicos (ácido acético, ácido propiónico, ácido láurico y cinamaldehído), de forma individual o como mezclas binarias, en una matriz de quitosano e investigaron su capacidad para inhibir el crecimiento de microorganismos autóctonos (BAL y enterobacterias) y de microorganismos inoculados (*Lactobacillus sakei* y *Serratia liquefaciens*) en la superficie de productos cárnicos curados envasados al vacío. Estos autores observaron que estas películas aunque no ejercían efecto sobre las BAL, inhibían el crecimiento de enterobacterias y *Serratia liquefaciens* tras 21 días de almacenamiento a 4°C. Las

películas antimicrobianas más efectivas fueron las que contenían cinamaldehído. Ye y col. (2008) evaluaron *in vitro* e *in vivo* (en jamón) la capacidad antilisteria de recubrimientos de quitosano con diferentes antimicrobianos: nisina, lactato de sodio, diacetato de sodio, sorbato potásico y benzoato de sodio. Estos autores indicaron que la incorporación de lactato de sodio al recubrimiento de quitosano era la opción más efectiva para inhibir el crecimiento de *Listeria monocytogenes* durante 12 semanas de almacenamiento a 4°C. Zinoviadou y col. (2010) también trabajaron con películas elaboradas a partir de proteína de queso a las que incorporaron lactato de sodio y  $\epsilon$ -polilisina como antimicrobianos para evaluar su efecto sobre la flora de deterioro de la carne de ternera. Los recubrimientos con  $\epsilon$ -polilisina inhibieron el crecimiento de las BAL mientras que los que contenían lactato de sodio redujeron significativamente el crecimiento de la flora total y de pseudomonas.

Seol y col. (2009) utilizaron películas comestibles de  $\kappa$ -carragenato a la que incorporaron ovotransferrina como antimicrobiano. Estos autores evaluaron si estas películas eran capaces de inhibir el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* y *Candida albicans* en carne de pollo y compararon la eficacia de la ovotransferrina frente a la del sorbato potásico y la del EDTA. La ovotransferrina no mostró actividad antimicrobiana ni en las pruebas realizadas *in vitro* ni *in vivo*, obteniéndose sólo resultados satisfactorios cuando además de ovotrasferrina se añadió EDTA.

Recientemente, Sánchez-González y col. (2011) han incorporado diferentes aceites esenciales (de bergamota, de limón y del árbol del té) en películas de quitosano y de hidroxipropilmetilcelulosa para evaluar *in vitro* su actividad antimicrobiana frente a *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. En todos los casos observaron actividad antimicrobiana, siendo ésta dependiente de la naturaleza y cantidad de aceite esencial, así como de la relación aceite esencial/polímero. En las dos matrices estudiadas (quitosano e hidroxipropilmetilcelulosa) el aceite esencial del árbol del té fue el antimicrobiano más eficaz ya que inhibió completamente el crecimiento de los tres microorganismos evaluados. Emiroğlu y col. (2010) incorporaron aceites

esenciales de timo y orégano en una película comestible elaborada a partir de proteína de soja, con objeto de evaluar su actividad antimicrobiana sobre *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomona aeruginosa* y *Lactobacillus plantarum* y de aumentar la vida útil de carne picada de ternera. Estos autores indicaron que las películas con tomillo u orégano presentaban mayor actividad antimicrobiana frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* que frente a *Pseudomona aeruginosa* y *Lactobacillus plantarum*. Sin embargo, este comportamiento fue diferente cuando las películas se aplicaron a la carne picada donde los recuentos de flora aerobia total, BAL y *Staphylococcus* spp. no se vieron afectados mientras que los de pseudomonas se redujeron.

Chiu y Lai (2010) evaluaron la capacidad antimicrobiana de películas de almidón de tapioca en las que incluyeron extracto de té verde frente a *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Salmonella enterica* en filetes de cerdo, observando que estos recubrimientos eran capaces de inhibir el crecimiento de las bacterias Gram positivas tanto en los ensayos *in vitro* como *in vivo* aunque no tenían ningún efecto sobre las bacterias Gram negativas. Lim y col. (2010) incorporaron carvacrol a recubrimientos comestibles elaborados con un alga roja (*Gelidium corneum*) y probaron su efectividad antimicrobiana frente a *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* O157:H7 en lonchas de jamón. Estos autores observaron que la incorporación de un 0,6% de carvacrol en el películas sólo tuvo efecto sobre los recuentos de de *Listeria monocytogenes*.

Juck y col. (2010) en productos de pavo listos para el consumo, inoculados con *Listeria monocytogenes*, evaluaron la eficacia de diferentes recubrimientos comestibles elaborados con polisacáridos (alginato, κ-carragenato, pectina, goma xantana y almidón) en los que incluyeron diversos antimicrobianos (lactato de sodio, diacetato de sodio, sorbato potásico, nisina, nisina + extracto de romero y nisina + lisozima + diacetato de sodio) solos o como mezclas binarias. Los recubrimientos de alginato con lactato de sodio/ diacetato de sodio o con nisina/ lactato de sodio fueron los más eficaces para

inhibir el crecimiento de *Listeria monocytogenes* a lo largo de 8 semanas de almacenamiento del producto a 8°C.

Desde el punto de vista microbiológico, hasta el momento los resultados obtenidos en los estudios de aplicación de películas y recubrimientos que contienen agentes antimicrobianos son diversos; no obstante se considera que esta tecnología emergente innovadora podría emplearse a nivel industrial como complemento a la refrigeración y a la tecnología de envasado en atmósferas protectoras (Fernández-Pan y Maté, 2011). Los aspectos más importantes a tener en cuenta en el desarrollo de este tipo de recubrimientos son que los compuestos integrantes del recubrimiento comestible y los ingredientes del producto deben interactuar de forma eficiente y que su aplicación no debe producir cambios en las propiedades organolépticas del producto sobre el que se van a añadir (Coma, 2008).



---

## **II. OBJETIVOS**

---



## **2.1. JUSTIFICACIÓN**

La presente Tesis Doctoral se integra dentro del proyecto de investigación “Optimización del proceso de elaboración y conservación para la obtención de productos cocidos ecológicos de alta calidad” (Nº PEP 2006.1934) desarrollado en la Estación Tecnológica de la Carne, del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, como parte del proyecto CDTI IDI 20070174 “Proyecto de investigación industrial concertada para la elaboración de jamón cocido, lomo sajonia y bacon de cerdo de producción ecológica. Diseño e implantación de planta piloto. Implantación de explotación porcina de producción ecológica”.

Este proyecto surge como respuesta a la necesidad que las empresas cárnicas tienen de diferenciarse. En un contexto como el actual, la elaboración de lomo Sajonia ecológico constituye una excelente oportunidad de diferenciación, diversificación y posicionamiento en el mercado ya que, por un lado, en España el número de productos cárnicos ecológicos comercializados es muy reducido y por otro, el lomo Sajonia es un producto en línea con las tendencias actuales ya que es de fácil preparación, puede ser incluido en platos precocinados y en comidas rápidas, admite presentaciones individuales, para restauración colectiva, etc. Por ello, en el presente trabajo, teniendo en cuenta los antecedentes descritos en la Revisión Bibliográfica, se abordó el estudio de la elaboración de lomo Sajonia ecológico tanto desde el punto de vista de su producción como desde el punto de vista de su comercialización.

## **2.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

El objetivo global de esta Tesis Doctoral fue la obtención de lomo Sajonia que pudiera ser calificado con la denominación genérica de calidad “Agricultura ecológica” y la evaluación de su conservación bajo diferentes

## *Objetivos*

---

condiciones de almacenamiento, para establecer su vida útil en dichas condiciones. Para alcanzar este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

**Objetivo 1.-** Adaptar el proceso de elaboración del lomo Sajonia y establecer las condiciones más adecuadas para obtener un producto de alta calidad, con bajo contenido en nitritos y sin fosfatos, con características similares al obtenido mediante elaboración convencional y que pueda ser calificado como ecológico.

**Objetivo 2.-** Obtener lomo Sajonia ecológico sin la utilización de nitritos, mediante el empleo de un extracto vegetal, y optimizar la formulación para que el producto presente características similares al obtenido mediante elaboración convencional.

**Objetivo 3.-** Estudiar la vida útil del lomo Sajonia elaborado con un contenido reducido en aditivos y del lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal, loncheados y envasados al vacío, bajo diferentes condiciones de almacenamiento y establecer aquellas que permitan mantener aceptables los parámetros de calidad durante un mayor tiempo.

**Objetivo 4.-** Estudiar el efecto de la utilización de diferentes recubrimientos antimicrobianos en la vida útil del lomo Sajonia elaborado con un contenido reducido en aditivos y del lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal, una vez loncheados y envasados al vacío.

---

### **III. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL**

---



### **3.1. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL**

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en esta Tesis Doctoral, el trabajo experimental se dividió en cinco estudios.

#### **3.1.1. ESTUDIO 1: ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA ECOLÓGICO. ADAPTACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN**

##### **3.1.1.1. Diseño Experimental**

El objetivo de este estudio fue adaptar el proceso de elaboración del lomo Sajonia a las directrices de la legislación que regula la producción ecológica (DOUE, 2008b), lo que implica elaborar un producto con una cantidad máxima añadida de nitritos (E-250) de 80 mg/kg y sin fosfatos. Como se ha indicado en la Revisión Bibliográfica, los nitritos se consideran necesarios para el desarrollo del color rosado típico de los productos cárnicos cocidos.

Por otro lado, en la elaboración de estos productos, los fosfatos se utilizan para aumentar la CRA y, así, reducir las pérdidas por cocción. Por ello, en este estudio, para minimizar los problemas derivados de la no utilización de fosfatos y por el empleo de cantidades reducidas de nitritos se consideró necesaria la modificación de la etapa de masajeado.

Para mejorar la extracción de proteínas y obtener una distribución homogénea de los nitritos durante la realización de la etapa de masajeado, las variables que se modificaron fueron la velocidad de giro del bombo y el tiempo durante la fase de trabajo mecánico y el tiempo de reposo tras el mismo. Para determinar las condiciones de masajeado más adecuadas se elaboraron 3 lotes de lomo Sajonia utilizando las condiciones establecidas para cada variable en la tabla 2.

Por último, con objeto de verificar que los lotes experimentales de lomo Sajonia presentaban características similares a los elaborados de forma

### *Planteamiento Experimental*

---

convencional, se adquirieron en el mercado diferentes marcas comerciales de lomo Sajonia. Estos lomos comerciales se utilizaron como lote control.

**Tabla 2.** Diseño experimental utilizado en el estudio de adaptación del proceso de elaboración para obtener Lomo Sajonia ecológico (Estudio 1).

Lote	Trabajo mecánico		Reposo
	Velocidad	Tiempo	
VB-21	4 rpm	3 horas	21 horas
VB-42	4 rpm	6 horas	42 horas
VA-21	8 rpm	3 horas	21 horas

#### **3.1.1.2. Plan de Trabajo**

En este estudio como materia prima se utilizaron 9 lomos (3 por lote experimental) que se inyectaron con una salmuera que no contenía fosfatos y preparada para obtener una concentración de 80 mg/kg de nitritos en el producto inyectado. La composición de dicha salmuera se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Composición de la salmuera utilizada en el Estudio 1.

Ingredientes/Aditivos	(%)
Agua	88,25
Sal	8,40
Dextrosa	3,00
Nitritos (E-250)	0,05
Ascorbato de sodio (E-301)	0,30

Con objeto de que la cocción se llevara a cabo simultáneamente en los 3 lotes, se comenzó elaborando aquellos lomos que iban a tener un tiempo de

reposo mayor. Así, el primer día se inyectaron los lomos del lote VB-42 que posteriormente se masajearon a una velocidad baja (4 rpm) durante 3 horas y se dejaron en reposo. Al día siguiente, se inyectaron los lomos de los lotes restantes. Los lomos del lote VB-21 junto con los lomos del lote VB-42 se masajearon a una velocidad baja (4 rpm) durante 3 horas y se dejaron en reposo 21 horas. Los lomos del lote VA-21 se masajearon a una velocidad alta (8 rpm) durante 3 horas y se dejaron en reposo 21 horas. Posteriormente, en todos los lotes experimentales se siguió el procedimiento general de elaboración de lomo Sajonia descrito en Material y Métodos.

En las diferentes fases del proceso de elaboración se registró el peso de cada uno de los lomos para calcular las pérdidas por cocción y el rendimiento. En el producto final se determinó la composición centesimal, el contenido en cloruro sódico (NaCl), en nitritos, el pH, la  $a_w$ , el agua retenida (AR), el color y la textura. Además, a partir de los resultados obtenidos para la humedad y el cloruro sódico (NaCl), se calculó el porcentaje de salmuera en el lomo Sajonia de los diferentes lotes.

### **3.1.2. ESTUDIO 2: ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN EXTRACTO VEGETAL**

#### **3.1.2.1. Diseño Experimental**

El objetivo del Estudio 2 fue eliminar el uso de nitritos en la elaboración de lomo Sajonia. Dado que, hasta el momento no se ha encontrado sustituto para este aditivo, su eliminación se abordó desde el punto de vista de un etiquetado “blanco”, utilizando compuestos naturales. Así, el uso de nitritos se sustituyó por el empleo de un extracto vegetal de apio y zanahoria (fuente natural de nitratos) y un cultivo iniciador con actividad nitrato reductasa (*Staphylococcus carnosus*). Para el desarrollo de este estudio se consideraron los siguientes lotes de lomo Sajonia:

**Lote ECO:** lomo Sajonia elaborado de acuerdo con la legislación que regula la producción ecológica (80 mg/kg de nitritos y sin fosfatos).

**Lote V:** constituido por lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal de apio y zanahoria (Chr. Hansen, Barcelona, España) y sin fosfatos.

**Lote VF:** formado por lomo Sajonia elaborado con extracto vegetal de apio y zanahoria (Chr. Hansen, Barcelona, España) y con fosfatos.

**Lote COM:** lomo Sajonia comercial, de diferentes marcas existentes en el mercado nacional, elaborado con nitritos y con fosfatos.

### 3.1.2.2. Plan de Trabajo

Para el desarrollo de este estudio se elaboraron 3 lotes experimentales de lomo Sajonia, utilizándose como materia prima 9 lomos (3 lomos por lote).

La composición de la salmuera utilizada en cada uno de los lotes experimentales se muestra en la tabla 4. En los lotes V y VF se utilizó un extracto de apio y zanahoria con un contenido en nitratos de 25,27 g/kg). En el lote VF el porcentaje de fosfatos utilizado se calculó para obtener 1.000 mg/kg en el producto inyectado.

**Tabla 4.** Composición de las salmueras usadas en la elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia del Estudio 2.

Ingredientes (%)	ECO	V	VF
Agua	88,25	87,21	86,61
Sal	8,40	8,40	8,40
Dextrosa	3,00	3,00	3,00
Extracto vegetal (apio y zanahoria)	-	1,32	1,32
Cultivo estándar*	-	0,07	0,07
Fosfatos (E-450iii, E-451i, E-452ii)	-	-	0,60
Nitritos (E-250)	0,05	-	-
Ascorbato de sodio (E-301)	0,30	-	-

\*Cultivo estándar: *Staphylococcus carnosus* (Chr. Hansen, Barcelona, España).

Todos los lotes experimentales se elaboraron siguiendo el procedimiento general descrito en Material y Métodos, utilizando las

condiciones de masajeado establecidas como más adecuadas tras la realización del Estudio 1.

Con el fin de estudiar el efecto de la utilización de diferentes salmueras, a lo largo del proceso de elaboración (en la materia prima, en el lomo inyectado, en el lomo masajeado y en el producto final) se registraron los pesos para calcular las pérdidas por cocción y el rendimiento y se tomaron muestras (un filete de 1 cm de espesor) para realizar determinaciones microbiológicas (recuentos de la flora aerobia mesófila viable y de CGC+) y físico-químicas (pH, contenido en nitratos y nitritos y estado de oxidación de la mioglobina). En el producto acabado se determinó la composición centesimal, el contenido en aditivos, el pH, la  $a_w$ , el AR, una evaluación instrumental del color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) calculándose  $C^*$ ,  $H^*$  y el contenido en nitrosilhemocromo y la textura (TPA). Además, a partir de los resultados obtenidos para la humedad y el NaCl, se calculó el porcentaje de salmuera en el lomo Sajonia de los diferentes lotes. Por último, se realizó un análisis sensorial (test de aceptación) con un panel de catadores entrenados.

### **3.1.3. ESTUDIO 3: OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN EXTRACTO VEGETAL**

#### **3.1.3.1. Diseño Experimental**

En este estudio, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Estudio 2, se abordó la optimización de la elaboración de lomo Sajonia con un extracto vegetal para obtener un producto ecológico. En este sentido, se intentó reducir el nivel residual de nitritos mediante dos estrategias:

**Estrategia 1:** reducción de la concentración del extracto vegetal utilizado en la elaboración de lomo Sajonia.

**Estrategia 2:** utilización de diferentes tipos y concentraciones de antioxidantes naturales.

### *Planteamiento Experimental*

---

Para desarrollar la Estrategia 1 se elaboraron 3 lotes experimentales de lomo Sajonia con diferentes cantidades de un extracto vegetal de apio y zanahoria (Chr. Hansen, Barcelona, España):

**Lote V-1,32:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria.

**Lote V-0,90:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,90% de extracto vegetal de apio y zanahoria.

**Lote V-0,48:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,48% de extracto vegetal de apio y zanahoria.

Para el desarrollo de la Estrategia 2 se seleccionaron 2 tipos de antioxidantes naturales: extracto de vino blanco (Chr. Hansen, Barcelona, España) y extracto de romero, salvia y orégano (Prosur S.A., Murcia, España).

Con objeto de verificar el efecto de estos antioxidantes sobre el nivel de nitritos se elaboraron diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia con un 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria y con diferentes cantidades de los 2 tipos de antioxidantes:

**Lote VVB-0,60:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,60% de extracto de vino blanco.

**Lote VVB-1,80:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,80% de extracto de vino blanco.

**Lote VRSO-0,60:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,60% de extracto de romero, salvia y orégano.

**Lote VRSO-1,80:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,80% de extracto de romero, salvia y orégano.

Los porcentajes de los antioxidantes naturales utilizados se seleccionaron teniendo en cuenta las dosis mínimas y máximas recomendadas por los suministradores.

### 3.1.3.2. Plan de Trabajo

Para llevar a cabo la Estrategia 1 se emplearon 9 lomos (3 lomos por lote). Cada lote fue inyectado con una salmuera elaborada con diferente cantidad de extracto vegetal (1,32, 0,90 y 0,48%). La composición de dichas salmueras se muestra en la tabla 5.

Todos los lotes experimentales se elaboraron siguiendo el procedimiento general descrito en Material y Métodos, utilizando las condiciones de masajeado establecidas como más adecuadas tras la realización del Estudio 1.

**Tabla 5.** Composición de las salmueras utilizadas para la elaboración del lomo Sajonia con diferente concentración de extracto vegetal (Estrategia 1 - Estudio 3).

Ingredientes (%)	V-1,32	V-0,90	V-0,48
Agua	87,21	87,63	88,05
Sal	8,40	8,40	8,40
Dextrosa	3,00	3,00	3,00
Extracto vegetal (apio y zanahoria)	1,32	0,90	0,48
*Cultivo estándar	0,07	0,07	0,07

\*Cultivo estándar: *Staphylococcus carnosus* (Chr. Hansen, Barcelona, España).

A lo largo del proceso de elaboración, en la materia prima, en el lomo inyectado, en el lomo masajeado y en el producto final se registraron los pesos de cada uno de los lomos de cada lote para calcular las pérdidas por cocción y el rendimiento. Además, en el producto final se determinó el contenido en nitratos y nitritos y se realizó una evaluación instrumental del color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) calculándose  $C^*$ ,  $H^*$  y el índice en nitrosilhemocromo. Por último, se realizaron pruebas sensoriales discriminatorias (prueba triangular) y pruebas sensoriales afectivas (prueba de preferencia).

Para el desarrollo de la Estrategia 2 se emplearon 12 lomos (3 lomos por lote). Todos los lotes se elaboraron con una salmuera que contenía además

### Planteamiento Experimental

---

del extracto vegetal, los diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales. La composición de las salmueras utilizadas en la elaboración de los diferentes lotes experimentales se presenta en la tabla 6.

Todos los lotes experimentales se elaboraron siguiendo el procedimiento general descrito en Material y Métodos, utilizando las condiciones de masajeado establecidas como más adecuadas tras la realización del Estudio 1.

**Tabla 6.** Composición de las salmueras utilizadas en la elaboración de lomo Sajonia con diferentes tipos y concentraciones de antioxidantes naturales (Estrategia 2 - Estudio 3).

Ingredientes (%)	VVB-0,60	VVB-1,80	VRSO-0,60	VRSO-1,80
Agua	86,61	85,41	86,61	85,41
Sal	8,40	8,40	8,40	8,40
Dextrosa	3,00	3,00	3,00	3,00
Extracto vegetal (apio y zanahoria)	1,32	1,32	1,32	1,32
*Cultivo estárter	0,07	0,07	0,07	0,07
Extracto de vino blanco	0,60	1,80	-	-
Extracto de romero, salvia y orégano	-	-	0,60	1,80

\*Cultivo estárter: *Staphylococcus carnosus* (Chr. Hansen, Barcelona, España).

A lo largo del proceso de elaboración, en la materia prima, en el lomo inyectado, en el lomo masajeado y en el producto final, se registraron los pesos de cada uno de los lomos de cada lote para calcular las pérdidas por cocción y el rendimiento. También se determinó el pH de las salmueras, de la materia prima y del producto final. En el producto final se determinó el contenido en nitratos y nitritos y se realizó una evaluación instrumental del color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) calculándose  $C^*$ ,  $H^*$  y el índice en nitrosilhemocromo. Por último, se realizaron pruebas sensoriales discriminatorias (prueba triangular) y pruebas sensoriales afectivas (prueba de preferencia).

#### **3.1.4. ESTUDIO 4: EFECTO DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN LA VIDA ÚTIL DE LOS LOTES EXPERIMENTALES DE LOMO SAJONIA**

##### **3.1.4.1. Diseño Experimental**

El objetivo de este estudio fue establecer las condiciones de conservación (oscuridad, luz) que permiten mantener aceptables durante un mayor tiempo los parámetros de calidad del lomo Sajonia experimental. Para llevarlo a cabo se consideraron los siguientes lotes:

**Lote ECO:** constituido por lomo Sajonia elaborado de acuerdo con la legislación que regula la producción ecológica (80 mg/kg de nitritos y sin fosfatos).

**Lote VVB:** constituido por lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,32% de extracto vegetal y un 0,60% de extracto de vino blanco.

**Lote VVBF:** formado por lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,32% de extracto vegetal, un 0,60% de extracto de vino blanco y un 0,60% de fosfatos.

Una vez obtenidos los distintos lomos experimentales se procedió a su loncheado, colocación en bandejas y envasado al vacío. Las bandejas obtenidas para cada lote fueron almacenadas bajo refrigeración y en condiciones de luz u oscuridad. El control de la evolución de los diferentes lotes a lo largo del almacenamiento se realizó a los 0, 7, 14 y 21 días.

El experimento completo fue repetido dos veces.

##### **3.1.4.2. Plan de Trabajo**

En este estudio se emplearon 12 lomos (4 lomos por lote). La composición de la salmuera utilizada en la elaboración de cada uno de los lotes se muestra en la tabla 7.

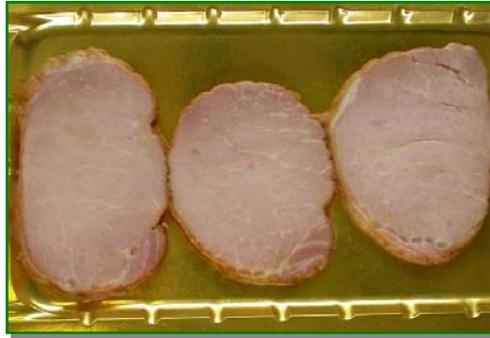
**Tabla 7.** Composición de las salmueras usadas en la elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia del Estudio 4.

<b>Ingredientes (%)</b>	<b>ECO</b>	<b>VVB</b>	<b>VVBF</b>
Agua	88,25	86,61	86,01
Sal	8,40	8,40	8,40
Dextrosa	3,00	3,00	3,00
Fosfatos: E-450, E- 451, E-452	-	-	0,60
Nitritos (E-250)	0,05	-	-
Ascorbato de sodio (E-301)	0,30	-	-
Extracto vegetal (apio y zanahoria)	-	1,32	1,32
*Cultivo estándar	-	0,07	0,07
Extracto de vino blanco	-	0,60	0,60

\*Cultivo estándar: *Staphylococcus carnosus* (Chr. Hansen, Barcelona, España).

Todos los lotes experimentales se elaboraron siguiendo el procedimiento general descrito en Material y Métodos, utilizando las condiciones de masajeado establecidas como más adecuadas tras la realización del Estudio 1. El producto obtenido, después de 24 horas de refrigeración a 2°C, se loncheó a 1 cm de grosor con una loncheadora mod. GC-250 Sammic (Azpeitia, Guipúzcoa, España).

Las lonchas obtenidas para cada lote se colocaron sobre bandejas de plástico termoformable darfresh® de Cryovac® (velocidad de transmisión del oxígeno  $\leq 2 \text{ cm}^3 / \text{m}^2 / 24 \text{ h} / \text{bar}$  a 5-35°C y 80% HR, Sealed Air S.L., Sant Boi de Llobregat, España). A continuación, las bandejas se envasaron al vacío con una termoformadora mod. VS26 Darfresh (Sealed Air Cryovac, Sant Boi de Llobregat, España). El film superior utilizado fue TH300 Darfresh® Cryovac® (velocidad de transmisión del oxígeno  $\leq 2 \text{ cm}^3 / \text{m}^2 / 24 \text{ h} / \text{bar}$  a 25°C y 80% HR y una velocidad de transmisión de vapor de agua  $\leq 8 \text{ g} / \text{m}^2 / 24 \text{ h}$ , Sealed Air S.L., Sant Boi de Llobregat España). En la figura 9 se muestra el aspecto de los envases de lomo Sajonia loncheado.



**Figura 9.** Aspecto de los envases de lomo Sajonia loncheado.

Tras el envasado al vacío, la mitad de las bandejas de cada lote se almacenó en una cámara de refrigeración y la otra mitad en un mural expositor mod. Odessa 2 (Arneg Portuguesa, Portugal) simulando las condiciones de los lineales en los hipermercados. En ambos casos, se utilizó una temperatura de refrigeración de 2°C.

Las bandejas almacenadas en el mural expositor fueron iluminadas con un fluorescente de luz blanca (58 W) durante 12 horas al día, 6 días por semana, durante el periodo que duró el estudio. Además, cada 24 h se rotaron las bandejas para minimizar los efectos debidos a las diferencias de intensidad de luz y a la variación de temperatura dentro del mural.

Cada día de muestreo (0, 7, 14 y 21 días) se sacaron 2 bandejas de cada lote y de cada condición de almacenamiento (12 bandejas en total). La mitad de las bandejas se utilizó para realizar los análisis microbiológicos (recuentos de flora psicrotrofa y de flora anaerobia) y los físico-químicos (pH,  $a_w$ , oxidación lipídica, medida instrumental del color y de la textura) y la otra mitad para el análisis sensorial (prueba de aceptación).

### **3.1.5. ESTUDIO 5: EVALUACIÓN DE DIFERENTES ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA VIDA ÚTIL DE LOS LOTES EXPERIMENTALES DE LOMO SAJONIA**

#### **3.1.5.1. Diseño Experimental**

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la utilización de diferentes antimicrobianos (extracto de romero, extracto de romero + *Pediococcus acidilactici*) en la vida útil del lomo Sajonia experimental. Para llevarlo a cabo se consideraron los lotes ECO, VVB, VVBF (apartado 4.1.4.1. del estudio anterior) en los que se aplicaron los siguientes tratamientos:

**Tratamiento V:** envasado al vacío (grupo control).

**Tratamiento PV:** aplicación de un recubrimiento comestible de polisacáridos (DOMCA S.A., Granada, España) y envasado al vacío.

**Tratamiento PRoV:** aplicación de un recubrimiento comestible de polisacáridos (DOMCA S.A., Granada, España) al que se le incorporó como antimicrobiano un extracto de romero (Amexol, Laboratorios Amerex, Madrid, España) y envasado al vacío.

**Tratamiento PRoPV:** aplicación de un recubrimiento comestible de polisacáridos (DOMCA S.A., Granada, España) al que se le incorporó como antimicrobiano una mezcla de extracto de romero y de *Pediococcus acidilactici* (Biamex, Laboratorios Amerex, Madrid, España) y envasado al vacío.

Una vez obtenidas las bandejas de los diferentes tratamientos, éstas fueron almacenadas en un mural refrigerado (2°C, 12 h de iluminación). El control de la evolución de las diferentes muestras a lo largo del almacenamiento se realizó a los 0, 7, 14 y 21 días.

El experimento completo fue repetido dos veces.

#### **3.1.5.2. Plan de Trabajo**

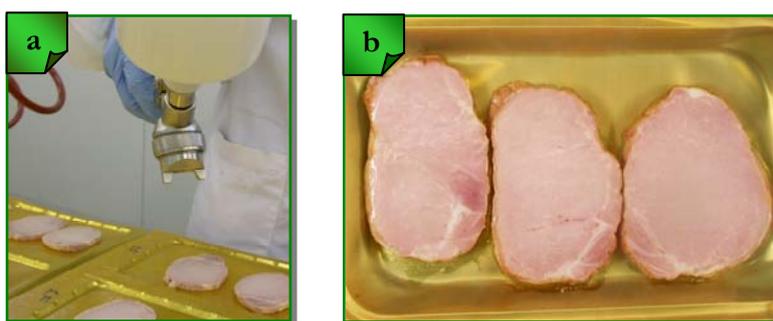
Para llevar a cabo este estudio se utilizaron 27 lomos Sajonia (9 lomos por lote) que se elaboraron, lonchearon y colocaron en bandejas de la forma descrita en el estudio anterior (apartado 4.1.4.2.). Las bandejas obtenidas para

cada lote se dividieron en 4 grupos para ser sometidas a los diferentes tratamientos.

El recubrimiento comestible se obtuvo tras la disolución de 40 g/l en agua (tratamiento PV). La preparación de los tratamientos con antimicrobianos (PRoV, PRoPV) se realizó añadiendo a la solución anterior 5 g de Amexol en el caso del tratamiento PRoV o 100 g de Biamex en el caso del tratamiento PRoPV. Estas concentraciones de antimicrobianos se establecieron en base a los resultados obtenidos en pruebas sensoriales de aceptación realizadas con catadores entrenados en estudios previos (Vaquero y col., 2011).

La aplicación de los tratamientos PV, PRoV, PRoPV se realizó mediante el esprayado de 0,5 ml de la solución preparada sobre cada bandeja, con una pistola con regulador de caudal mod. Faber 2000 (Zorroza, Bilbao, España) (figura 10a).

Posteriormente, todas las bandejas fueron envasadas al vacío con una termoformadora mod. VS26 Darfresh (Sealed air Cryovac, Sant Boi de Llobregat, España). El film superior utilizado fue TH300 Darfresh ® Cryovac ® (velocidad de transmisión del oxígeno  $\leq 2 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ h}/\text{bar}$  a 25°C y 80% HR y una velocidad de transmisión de vapor de agua  $\leq 8 \text{ g}/\text{m}^2/24 \text{ h}$ , Sealed Air S.L., Sant Boi de Llobregat España). En la figura 10b se muestra el aspecto de los envases de lomo Sajonia loncheado obtenidos.



**Figura 10.** a) Esprayado de las lonchas de lomo Sajonia con los diferentes tratamientos y b) aspecto final de los envases de lomo Sajonia loncheado.

### *Planteamiento Experimental*

---

Finalmente, las bandejas se almacenaron a 2°C en un mural expositor mod. Odessa 2 (Arneg Portuguesa, Portugal) simulando las condiciones de los lineales en los hipermercados. Durante el almacenamiento de las bandejas, éstas se iluminaron con un fluorescente de luz blanca (58 W) durante 12 horas al día, 6 días por semana, durante el periodo que duró el estudio. Además, cada 24 h se rotaron las bandejas para minimizar los efectos debidos a las diferencias de intensidad de luz y a la variación de temperatura dentro del mural.

Cada día de muestreo (0, 7, 14 y 21 días) se sacaron 2 bandejas de cada lote (24 bandejas en total). La mitad de las bandejas se utilizó para realizar los análisis microbiológicos (recuentos de flora psicrotrofa, de flora anaerobia, de pseudomonas, de enterobacterias, de BAL y de mohos y levaduras) y los físico-químicos (pH,  $a_w$ , medida instrumental del color y de la textura) y la otra mitad para el análisis sensorial (prueba de aceptación).

---

## **IV. MATERIAL Y MÉTODOS**

---



#### **4.1. MATERIAL BIOLÓGICO Y TRANSFORMACIÓN**

Para la elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia necesarios para el desarrollo de esta Tesis Doctoral como **materia prima** se utilizaron lomos (*Longissimus thoracis et lumborum*) procedentes de cerdos blancos grasos, de una raza híbrida comercial de las razas Large White, Pietrain y Landrace (Topigs-40).

Los cerdos fueron criados y alimentados en la empresa Carnipor, S.L. siguiendo las pautas descritas en el Reglamento (CE) N° 889/2008 (DOUE, 2008b) en el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N° 834/2007 del Consejo, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos (DOUE, 2007b). La alimentación de los cerdos, a partir de los 25 kg de peso, consistió en una dieta con un 15% de haba de soja tostada, un 15% de guisante ecológico y un 67,5% de cebada ecológica. Además, se les suministró paja de cereal *ad libitum*, un suplemento de sal, carbonato cálcico, fosfato bicálcico y un corrector vitamínico-mineral ecológico. Los animales fueron sacrificados a los 9-11 meses de edad, con un peso medio de 110-120 kg, en el matadero de la empresa, siguiendo la legislación vigente.

Tras el sacrificio, las canales se conservaron en cámaras de oreo a temperaturas de refrigeración hasta el día siguiente, en el que se realizó el despiece en la sala de despiece de la empresa que cumple los requisitos higiénico-sanitarios establecidos en la legislación. Una vez obtenidos los lomos, éstos fueron transportados en condiciones de refrigeración hasta la Estación Tecnológica de la Carne donde se midió su pH (figura 11) con objeto de garantizar la aptitud tecnológica de los mismos.

La elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia necesarios para el desarrollo de la Tesis Doctoral se realizó en la planta piloto de la Estación Tecnológica de la Carne.



**Figura 11.** Comprobación del pH de la materia prima utilizada para la elaboración de lomo Sajonia.

A continuación se describe de forma generalizada el proceso utilizado para la **elaboración de lomo Sajonia** que, en todos los casos, se realizó con un 20% de inyección y con merma.

Cada día de elaboración se prepararon las salmueras correspondientes, de acuerdo con las formulaciones establecidas en cada estudio. En primer lugar, el agua necesaria para la **preparación de la salmuera** se dejó en reposo 24 h con el fin de que la mayor parte del cloro presente en la misma se volatilizara, evitando así, que este compuesto reaccionara con los ingredientes, aditivos y/o cultivos iniciadores. Este reposo se realizó en una cámara de refrigeración para que la temperatura del agua fuera de 2°C. Los ingredientes y aditivos correspondientes se adicionaron teniendo en cuenta las indicaciones dadas en el apartado 4.1 de la Revisión Bibliográfica y fueron mezclados con una batidora industrial mod. PBC (Inoxpa, Gerona, España) hasta su completa disolución (figura 12).

Continuamente se comprobó que la temperatura de la salmuera se mantenía entre 2-4°C con una sonda de temperatura mod. TV-0020 Tinytag (Biospin, Madrid, España).



**Figura 12.** Elaboración de la salmuera.

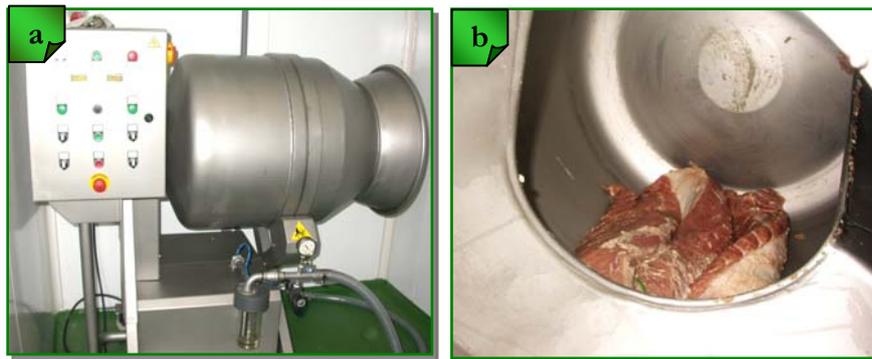
La **inyección de la salmuera** en los lomos se realizó mediante una inyectora multiagujas mod. CH-14 equipada con tenderizador (Ogalsa, Gerona, España) a baja presión (1 bar) y hasta alcanzar un 20% de inyección (figura 13). Durante este proceso, se realizaron controles de peso con el fin de comprobar que los lomos alcanzaban el porcentaje de inyección seleccionado.



**Figura 13.** Incorporación de la salmuera con la inyectora multiagujas.

Una vez inyectados los lomos, se realizó una etapa de **masajeado**. Para ello, los lomos inyectados se introdujeron en un bombo de masajeado mod. SM-Pulmax 200 Lts. (Technical, Gerona, España) (figura 14) y se sometieron a

periodos de tratamiento mecánico intermitentes. A continuación, los lomos se dejaron en reposo dentro del bombo. La velocidad de giro del bombo y los tiempos de reposo durante el masaje se establecieron en función del estudio a realizar. En todos los casos el proceso de masajeado fue realizado al vacío y a una temperatura de 2°C.



**Figura 14.** a) Bombo de masajeado y b) lomos inyectados dentro del bombo.

Una vez que los lomos fueron masajeados se introdujeron en mallas y se dispusieron en carros para ser introducidos en el horno (figura 15).



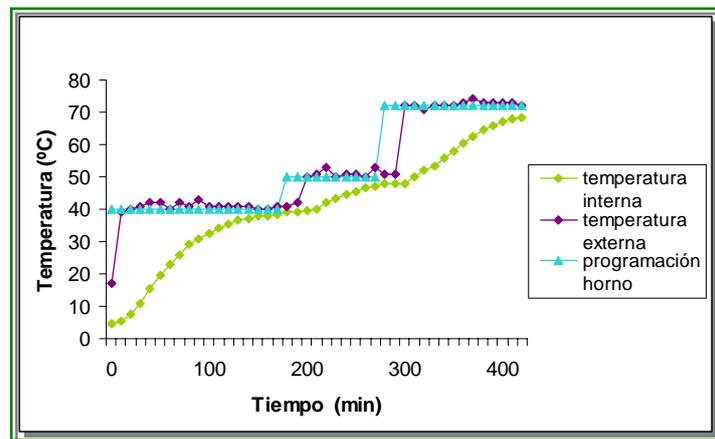
**Figura 15.** Enmoldado de los lomos y colocación de los mismos dentro del horno en el que se llevó a cabo la cocción.

En todos los lotes experimentales la **cocción** se realizó con merma y se llevó a cabo en un horno mod. Junior 1100 (Verinox, Vigolo Vattaro, Italia) que permitía controlar la temperatura tanto en el interior del horno como en el interior del producto. El proceso de cocción se realizó en varias fases, en las

que se fue aumentando la temperatura de forma escalonada. Además, en una de las fases se incluyó una etapa de ahumado. El programa de cocción utilizado fue el siguiente:

- 1ª fase: la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 40°C durante 180 minutos.
- 2ª fase: la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 50°C durante 90 minutos.
- 3ª fase: se realizó un ahumado con virutas de madera y la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 72°C durante 35 minutos.
- 4ª fase: la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 72°C hasta que la temperatura interna en el centro del lomo alcanzó 68°C.
- 5ª fase: se mantuvo la temperatura interna del lomo a 68°C durante 10 minutos.

En la figura 16 se muestra la evolución de la temperatura en el interior del horno y en el producto a lo largo del proceso de cocción.



**Figura 16.** Evolución de la temperatura (temperatura programada, temperatura en el interior del horno, temperatura en el interior del producto) durante la etapa de cocción.

Finalmente, se procedió al **enfriado** del lomo Sajonia elaborado en una cámara de refrigeración a 2°C, donde se mantuvo hasta que la temperatura en el interior de la pieza fue de 2-3°C.

## **4.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

Las técnicas utilizadas para la determinación de los distintos parámetros (tecnológicos, microbiológicos, físico-químicos y sensoriales) evaluados en los diferentes estudios que comprenden esta Tesis Doctoral, están basados en métodos oficiales o han sido descritos en la bibliografía científica.

### **4.2.1. PARÁMETROS TECNOLÓGICOS**

#### **4.2.1.1. Determinación del rendimiento**

El rendimiento obtenido tras el proceso de elaboración del lomo Sajonia se calculó como la relación entre el peso del lomo cocido y enfriado y el peso de la materia prima. El resultado se expresó como porcentaje.

#### **4.2.1.2. Determinación de las pérdidas por cocción**

Las pérdidas por cocción durante la elaboración del lomo Sajonia se calcularon como la diferencia de peso del lomo antes y después de ser cocido, dividido por el peso del lomo después de cocido y enfriado. El resultado fue expresado como porcentaje.

### **4.2.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS**

#### **4.2.2.1. Preparación de la muestra**

Mediante la utilización de bisturí y de pinzas estériles, en ambiente estéril, se tomaron  $10 \pm 0,1$  g de muestra, que se introdujeron en una bolsa estéril con filtro, para su homogeneización con 90 ml de agua de peptona al 0,1% (Scharlau Chemie, Barcelona, España).

La bolsa con la muestra y el diluyente se homogeneizaron durante 2 minutos en un homogeneizador de paletas modelo PK 400 (Masticador IUL, S.A., Barcelona) y, transcurrido este tiempo, se filtró el contenido de la bolsa en un erlenmeyer esterilizado obteniéndose así la dilución madre (dilución 1:10) que se utilizó para la preparación de las posteriores diluciones decimales, de acuerdo con la forma de proceder habitual en microbiología.

Para las diferentes determinaciones microbiológicas, en los casos en los que fue posible se utilizaron métodos rápidos y en el resto métodos convencionales, tal y como se indica en los siguientes apartados.

#### **4.2.2.2. Recuentos de flora aerobia mesófila viable**

A partir de la serie de diluciones decimales, y por duplicado, se depositó con una pipeta estéril 1 ml de cada dilución en el centro de una placa Petrifilm de Recuento de Aerobios (Plate Count Agar 3M, 3M, Madrid, España). Las placas petrifilm se incubaron a 30°C durante 72 horas (método aprobado por AFNOR-Association Francaise de Normalisation-nº3M 01/1/09/89).

#### **4.2.2.3. Recuentos de flora psicrotrofa**

A partir de la serie de diluciones decimales, y por duplicado, se depositó con una pipeta estéril 1 ml de cada dilución en placas Petri estériles. A continuación, se añadieron 15 ml de agar PCA (Plate Count Agar, Scharlau Chemie, Barcelona, España), previamente atemperado a 45-50°C y se mezclaron cuidadosamente. Se dejaron solidificar las placas sobre una superficie horizontal y, posteriormente, se incubaron a 7°C durante 10 días.

#### **4.2.2.4. Recuentos de flora anaerobia**

A partir de la serie de diluciones decimales, y por duplicado, se depositó con una pipeta estéril 1 ml de cada dilución en placas Petri estériles. A continuación se añadieron 15 ml de agar Schaedler (Scharlau, Chemie, Barcelona, España), previamente atemperado a 45-50°C, y se mezclaron

cuidadosamente. Se dejaron solidificar las placas sobre una superficie horizontal y, posteriormente, se vertieron 3-4 ml del mismo medio estéril sobre cada placa. Finalmente, las placas se incubaron a 37°C durante 48 horas.

#### **4.2.2.5. Recuentos de pseudomonas**

A partir de las diluciones decimales, y por duplicado, se depositaron 0,1 ml de cada dilución, en placas Petri previamente preparadas con agar Base Pseudomonas (Oxoid, Madrid, España) suplementado con CFC (Cetrimida, Fucidina, Cefaloridina, Oxoid, Madrid, España). El inóculo se extendió con un asa de Digralsky por toda la superficie de las placas y posteriormente, éstas se incubaron a 30°C durante 48 horas. Transcurrido este tiempo, sobre las colonias crecidas en dicho medio se realizó como prueba de confirmación el test de la oxidasa, considerándose como pseudomonas las colonias oxidasa positivas.

#### **4.2.2.6. Recuentos de enterobacterias**

A partir de la serie de diluciones, y por duplicado, se depositó con una pipeta estéril 1 ml de cada disolución, en el centro de una placa Petrifilm para recuento de *Enterobacteriaceae* (Violet Red Bile Glucosa Agar, 3M, Madrid, España). Las placas se incubaron a 37°C durante 24 horas (Método aprobado por AFNOR- Association Francaise de Normalisation- n° 3M 01/6/09/97).

#### **4.2.2.7. Recuentos de cocos Gram positivos, catalasa positivos (CGC+)**

A partir de las diluciones decimales, y por duplicado, se depositó con una pipeta estéril 0,1 ml de cada dilución en placas previamente preparadas de agar MSA (Mannitol Salt Agar, Scharlau Chemie, Barcelona, España). El inóculo se extendió con un asa de Digralsky por toda la superficie de las placas y posteriormente, éstas se incubaron a 37°C durante 48 horas.

#### **4.2.2.8. Recuentos de bacterias ácido lácticas (BAL)**

A partir de las diluciones decimales, y por duplicado, se depositó 0,1 ml de cada dilución en placas previamente preparadas de agar MRS (Man, Rogosa y Sharpe, Scharlau Chemie, Barcelona, España). El inóculo se extendió con un asa de Digralsky por toda la superficie de las placas y posteriormente, éstas se incubaron a 30°C durante 72 horas en condiciones de anaerobiosis.

#### **4.2.2.9. Recuentos de mohos y levaduras**

A partir de la serie de diluciones, y por duplicado, se depositó con una pipeta estéril, 1 ml de cada dilución, en el centro de una placa Petrifilm para Recuento de Mohos y Levaduras (OGYE agar suplementado con Oxitetraciclina, 3M, Madrid, España). Las placas se incubadora 25°C durante 5 días (Método AOAC Oficial Method<sup>SM</sup> 997.02).

### **4.2.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS**

Todos los reactivos utilizados para la realización de los análisis físico-químicos fueron de calidad reactivo P.A. (para análisis) o Q.P. (químicamente puros). En aquellos casos en que fue necesario preparar disoluciones se utilizó agua destilada o desionizada.

Todos los análisis se realizaron por triplicado.

#### **4.2.3.1. Determinación del pH**

Para la determinación de este parámetro se utilizó un pH-metro mod. 2001 Crison (Crison Instrument S.A, Barcelona, España) provisto de un electrodo de punción mod. 52-32 Crison (Crison Instrument S.A, Barcelona, España). Una vez calibrado el equipo, el electrodo de punción se introdujo en 3 puntos diferentes de la superficie de corte de cada lomo Sajonia. El valor de pH se obtuvo como la media de las 3 medidas realizadas.

#### **4.2.3.2. Determinación de la actividad de agua**

La determinación de la actividad del agua ( $a_w$ ) se realizó con un higrómetro mod. Aqua Lab CX-2 (Decagon, Washington, USA), que determina el punto de rocío.

Tras la calibración del equipo con una solución estándar de cloruro potásico 0,5 M y con agua destilada, se colocó la muestra de lomo Sajonia previamente picada con una picadora mod. GM 200 (Grindomix, Retsch, Alemania), en una cápsula de plástico con ayuda de una espátula, formando una capa homogénea que cubría el fondo de la misma. La cápsula se introdujo en el equipo para la lectura digital de la  $a_w$ . El tiempo de respuesta del equipo fue de alrededor de 5 minutos y la precisión de  $\pm 0,003$ .

#### **4.2.3.3. Determinación del agua retenida**

Para la determinación del agua retenida (AR) se utilizó el método propuesto por Lianji y Chen (1989) modificado por Cheng y col. (2005).

A partir de una loncha de lomo Sajonia de 1 cm de grosor, se extrajeron 3 prismas rectangulares de  $1 \times 1 \times 10 \text{ cm}^3$ , de  $10 \pm 0,5 \text{ g}$ . Cada prisma se envolvió en papel de filtro y se introdujo en un tubo de poliestireno, en cuyo interior se había introducido algodón hidrófilo con objeto de absorber el agua liberada no retenida por el papel de filtro. Los tubos con la muestra fueron centrifugados a 9.000 g, durante 10 minutos, a  $4^\circ\text{C}$  en una centrifuga mod. 3K30 (Sigma, Madrid, España). Una vez centrifugada la muestra, se eliminó el papel de filtro que la envolvía y se determinó el peso de la muestra.

El AR fue expresada como porcentaje y se calculó según la siguiente expresión:

$$\text{AR (\%)} = \left[ 1 - \frac{A}{M} \right] \times 100$$

donde A es el peso de la muestra una vez que ha sido centrifugada y M es el porcentaje de humedad de la muestra.

#### 4.2.3.4. Determinación de la humedad

La humedad de las muestras se determinó con un equipo Smart System5™ (CEM, Vertex Technics S.L., Barcelona, España), cuyo funcionamiento se basa en la tecnología microondas. El equipo está constituido por un horno microondas con balanza incorporada, que permite el registro del peso inicial y de los pesos de la muestra obtenidos en continuo durante el proceso de secado (figura 17).

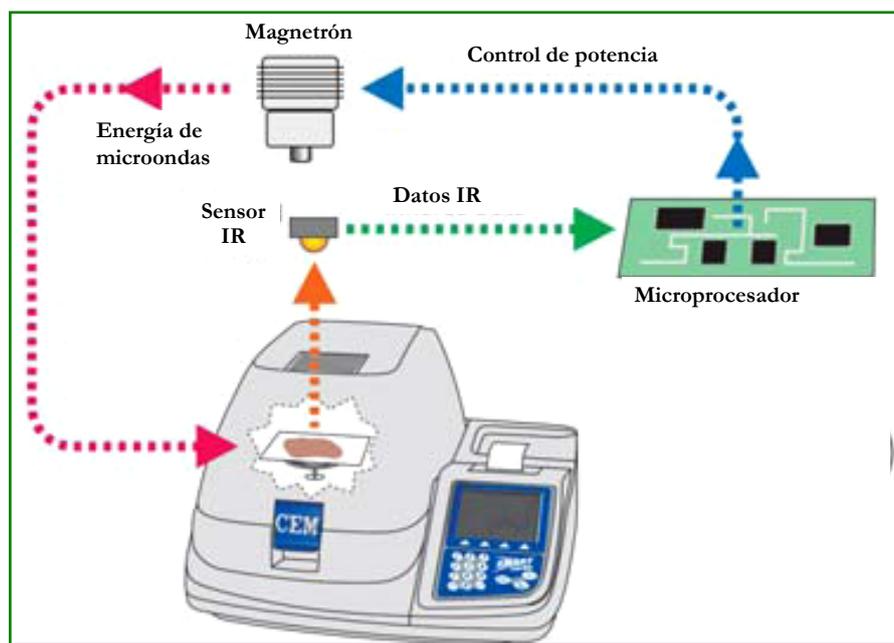


Figura 17. Esquema del equipo Smart System5™.

Para la obtención de este parámetro, se tararon dos papeles de fibra de vidrio. Sobre la parte rugosa de uno de ellos se colocaron 2,5-3,5 g de lomo Sajonia, previamente picado en una picadora mod. GM 200 (Grindomix,

Retsch, Alemania) y, con ayuda de una espátula, se extendieron hasta formar una fina capa homogénea. A continuación, se colocó el otro papel, por su parte rugosa, encima de la muestra extendida. La muestra así preparada se introdujo en el interior del horno microondas del equipo que fue secándola hasta que se alcanzó un peso constante.

Los valores de humedad obtenidos se utilizaron para el cálculo del AR y del porcentaje de salmuera.

#### **4.2.3.5. Determinación de proteínas**

La determinación de la proteína bruta se realizó según el procedimiento ISO R-937 (1978) en el que se calcula el nitrógeno total presente en la muestra mediante la determinación de los grupos -NH de la proteína, el nitrógeno amínico y amídico. La cantidad de nitrógeno obtenido se transforma en contenido proteico haciendo uso del factor de conversión 6,25.

Sobre un papel desengrasado libre de nitrógeno se pesó 1 g de muestra previamente triturada que se colocó en un tubo de digestión junto con 15 g de catalizador (99,9% de sulfato potásico y 0,1 % de selenio) y 25 ml de ácido sulfúrico concentrado (95-98%). A continuación, el tubo se colocó en un bloque calefactor (Foss-Tecator, Izasa, Barcelona, España) a 420°C, donde permaneció hasta obtenerse una solución completamente transparente. De manera paralela se realizó un blanco, en el que no se añadió muestra. Una vez realizada la digestión se procedió a su neutralización con hidróxido de sodio al 40% y a su destilación en un equipo Kjeldhal Gerhardt Vapodest-33 (Foss-Tecator, Izasa, Barcelona, España). Los iones amonio arrastrados con la destilación fueron recogidos en una solución de ácido bórico al 4% con 5 ml de indicador mixto (0,2 g de azul de metileno y 0,1 g de rojo de metilo disueltos en 100 ml de etanol), cuyo color cambió de verde a azul en función de la cantidad de iones amonio presentes en la muestra. Finalmente, para determinar la cantidad de amoniaco que había reaccionado con el ácido bórico, se realizó una valoración con una solución de ácido clorhídrico 0,1 N.

Para el cálculo del porcentaje de proteína se utilizó la siguiente ecuación:

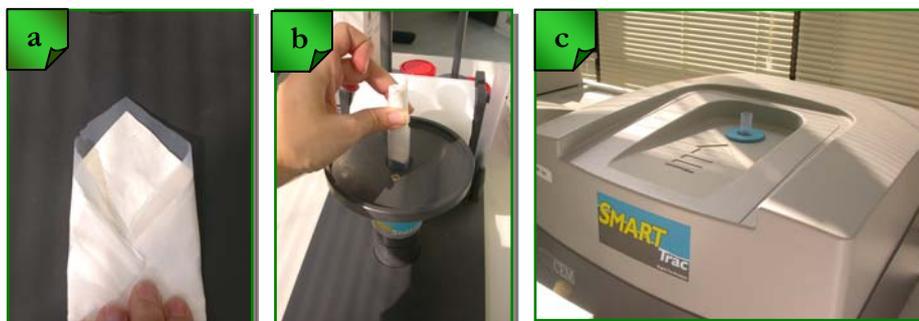
$$\text{Proteína bruta (\%)} = \frac{(V_2 - V_1) \times N}{P} \times 1,4 \times 6,25$$

donde  $V_1$  es el volumen (ml) de ácido clorhídrico requerido para la valoración del blanco,  $V_2$  el volumen (ml) de ácido clorhídrico requerido para la valoración de la muestra problema, N la normalidad de la solución de ácido clorhídrico y P el peso (g) de la muestra.

#### **4.2.3.6. Determinación de grasa**

La cantidad de grasa de la muestra se determinó inmediatamente después de la determinación de la humedad, mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN) en el equipo Smart Trac RMN (CEM, Vertex Technics S.L., Barcelona, España) que trabaja en conjunto con el equipo Smart System5™. Este equipo envía un pulso de energía de radio frecuencia a través de la muestra, que causa que el hidrógeno remanente genere una señal, conocida como “decaimiento de inducción libre” (FID), cuya intensidad se analiza para determinar la cantidad de protones presentes en la muestra. El decaimiento de la señal de los protones de la grasa es más lento que el de otros constituyentes de la muestra, como proteínas y carbohidratos, por lo que puede ser fácilmente medido.

La muestra desecada por el equipo Smart System5™ en los papeles de fibra de vidrio se colocó sobre un plástico y todo ello se plegó en forma de sobre (figura 18a). A continuación, se recogió sobre sí mismo formando un cilindro que se introdujo en un tubo de plástico (figura 18b). La muestra así preparada se comprimió hasta alcanzar una altura de 2,5 cm y se introdujo en el módulo de RMN (figura 18c). El equipo proporcionó directamente el porcentaje de grasa de la muestra a partir de la intensidad del FID.



**Figura 18.** Etapas del análisis de grasa por RMN: a) preparación de la muestra en el sobre, b) introducción de la misma en el tubo de plástico y c) colocación en el módulo de RMN.

#### 4.2.3.7. Determinación de cenizas

La determinación de las cenizas se realizó siguiendo el procedimiento gravimétrico ISO 936 (1998).

En un crisol de porcelana se pesó 1 g de muestra y, posteriormente, éste se colocó en un baño de arena termostático (Precisem Selecta, Madrid, España) a 100°C hasta la carbonización de la muestra. A continuación, se procedió a la incineración de la muestra carbonizada a 550°C en una mufla (Heraeus, Hanau, Alemania) donde permaneció hasta la obtención de cenizas completamente blancas (sin restos de materia orgánica).

El porcentaje de cenizas se calculó según la expresión:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100$$

donde  $P_0$  es el peso (g) del crisol vacío,  $P_1$  es el peso (g) del crisol con la muestra y  $P_2$  es el peso (g) del crisol con las cenizas.

#### **4.2.3.8. Determinación del cloruro sódico**

Para la determinación de los cloruros se procedió a su extracción y posterior análisis, siguiendo el procedimiento ISO 1841-1 (1996), basado en el método de Volhard, en el que, tras la acidificación del extracto que contiene los cloruros, se adiciona un exceso de nitrato de plata que se valora por retroceso con tiocianato.

Para la obtención del extracto, en un matraz Erlenmeyer se pesaron 10 g de muestra, previamente triturada y homogenizada, y se añadieron 100 ml de agua desionizada caliente. Posteriormente, el matraz se mantuvo durante 15 minutos en un baño de agua en ebullición. Una vez enfriada la mezcla hasta temperatura ambiente, se añadieron sucesivamente 2 ml de reactivo de Carrez I (solución acuosa de hexacianoferrato (II) de potasio) y 2 ml de reactivo de Carrez II (solución acuosa de acetato de zinc). La solución resultante se agitó y, tras 30 minutos de reposo, se trasvasó a un matraz aforado que se enrasó a 250 ml con agua desionizada, tras lo cual, la solución resultante se filtró. El extracto así obtenido contenía los cloruros y nitritos presentes en la muestra de partida.

Para la determinación de los cloruros, en un matraz erlenmeyer de 250 ml se añadieron 20 ml del extracto anteriormente obtenido y 5 ml de ácido nítrico 4 M. Posteriormente, se añadieron 20 ml de solución de nitrato de plata 0,1 M y como indicador 1 ml de disolución de sulfato de amonio y hierro (III), procediéndose a la valoración del exceso de plata con tiocianato de potasio 0,1 N hasta el cambio del color de la solución a rosa-pálido permanente. De manera paralela, se preparó un blanco con 20 ml de agua desionizada.

El porcentaje de cloruro sódico en la muestra se calculó según la expresión:

$$\text{NaCl (\%)} = 0,05844 \times (V_b - V) \times \frac{250}{A} \times \frac{100}{m} \times 0,1$$

donde  $m$  es el peso (g) de muestra de la que se ha obtenido el extracto,  $V$  es el volumen (ml) de tiocianato gastado en la valoración de la alícuota del extracto,  $V_b$  es el volumen (ml) de tiocianato gastado en la valoración del blanco, 0,05844 es un factor de conversión calculado teniendo en cuenta que 5,844 son los mg de cloruro sódico que corresponden a 1 ml de la solución valorante de nitrato de plata y  $A$  es el factor de dilución.

#### **4.2.3.9. Determinación de nitritos**

La determinación de nitritos se realizó según la Norma ISO 2918 (1975). Una vez obtenido el extracto que contenía los nitritos siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 5.2.3.8., se determinó su concentración por diazotización del ácido sulfanílico y el acoplamiento posterior con N-(1-naftil)-etilendiamina, que da lugar a la aparición de un compuesto de color rosa que puede determinarse espectrofotométricamente a 520 nm.

Para la determinación espectrofotométrica del nitrito, se mezclaron 10 ml del extracto previamente obtenido con 10 ml del reactivo colorimétrico. La solución resultante fue agitada y almacenada en oscuridad durante 20 minutos, transcurridos los cuales se procedió a la medida de la absorbancia a 520 nm, en un espectrofotómetro UV/Vis mod. DU® 640 (Beckman). La concentración de nitritos presente en el extracto se calculó por interpolación en una recta de calibrado.

El reactivo colorimétrico se obtuvo mezclando volúmenes iguales de dos soluciones: solución I y solución II. La solución I se preparó disolviendo al baño maría 6 g de ácido sulfanílico en 200 ml de ácido acético glacial y 400 ml de agua desionizada. Posteriormente se añadieron 200 ml de una solución de cloruro sódico al 10% y el volumen final se enrasó a 1 l con agua desionizada. La solución II se obtuvo tras disolver 0,3 g de cloruro de  $\alpha$ -naftilamina en 100 ml de agua desionizada. La solución obtenida se filtró y se le añadieron 200 ml de ácido acético glacial y se enrasó con agua desionizada hasta un volumen final de 1 l.

La curva de calibrado se obtuvo tras realizar la cuantificación del nitrito según el método anteriormente descrito en soluciones patrón que contenían 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,5 µg/ml de nitrito de sodio.

El contenido en nitritos de la muestra, expresado en mg/kg de nitrito sódico, se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$\text{NaNO}_2 \text{ (mg/Kg)} = \frac{2.500 \times C}{m \times V}$$

donde m es el peso (g) de muestra de la que se ha obtenido el extracto, V es el volumen (ml) tomado del extracto y C es la concentración de nitrito de sodio (µg/ml) determinada sobre la curva patrón.

#### **4.2.3.10. Determinación de nitratos**

El contenido de nitratos se determinó mediante cromatografía líquida de acuerdo con el método desarrollado por Merino y col. (2000).

Para la extracción de los nitratos, se añadieron 50 ml de agua desionizada caliente (aproximadamente a 55°C) a 5 g de muestra, manteniéndose la mezcla a esta temperatura, con agitación magnética, durante aproximadamente 1 hora. El extracto obtenido se llevó a un matraz aforado de 200 ml que se enrasó con agua desionizada. Posteriormente, se filtraron 100 ml de la disolución resultante y el extracto fue de nuevo filtrado mediante una jeringa con un filtro de 0,45 µm. Este nuevo extracto fue trasvasado a un tubo cromatográfico y se procedió a su análisis y cuantificación mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con un cromatógrafo Agilent Technologies, 1100 Series con una columna aniónica (Metrosep A Supp 5, de 250 mm de longitud y 4,0 mm diámetro interno). El flujo de la fase móvil (NaHCO<sub>3</sub> 1,0 mmol/l – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 3,2 mmol/l) fue de 0,7ml/min y el volumen de inyección fue de 10 µl. La cuantificación se realizó mediante el uso de una curva de calibrado.

Para la obtención de la curva de calibrado, se realizó la cuantificación del nitrato en soluciones patrón que contenían 0,25, 0,50, 1,25, 2,5, 5, 10 y 15 mg/l de nitrato.

El contenido de nitratos de la muestra, expresado como mg/kg de nitrato sódico, se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$\text{NaNO}_3 \text{ (mg/kg)} = \frac{1.000 \times C \times D}{m}$$

donde C es la concentración de nitrato sódico en mg/l obtenida a partir de la curva de calibrado, m es el peso de la muestra en g y D es la dilución inicial de la muestra.

#### **4.2.3.11. Determinación de fosfatos**

La determinación del contenido en fosfatos se realizó tras la determinación del contenido en fósforo de la muestra, utilizando el método colorimétrico del molibdato-vanadato (BOE, 1995). En este método, el fósforo presente en la muestra se transforma, tras su hidrólisis, en ácido pirofosfórico que reacciona con el reactivo molibdato-vanadato dando lugar a la aparición de un compuesto de color amarillo que puede determinarse espectrofotométricamente a 430 nm.

Sobre papel desengrasado se pesaron  $2,5 \pm 0,1$  g de muestra previamente triturada y homogenizada. El papel y la muestra se introdujeron en un tubo de digestión con selenio metálico y 25 ml de ácido sulfúrico concentrado al 96%. Tras 12 horas de reposo, se añadieron 2 ml de peróxido de hidrógeno al 30% p/v y los tubos de digestión se colocaron en un bloque calefactor de un digestor mod. bloc-digest 20-P (Selecta, Barcelona, España) a 410° C, hasta obtener una solución completamente transparente. Una vez realizada la digestión, los tubos se enfriaron y el extracto se trasvasó a un matraz de 250 ml, que se enrasó con agua desionizada. Para la determinación

del fósforo se mezclaron 10 ml del extracto con 10 ml de ácido sulfúrico (1:10) y 20 ml de reactivo molibdato-vanadato. Una vez enfriada, esta mezcla se enrasó con agua destilada hasta 100 ml y, tras 10 minutos, se realizó la medida de su absorbancia a 430 nm en un espectrofotómetro UV/Vis mod. DU® 640 (Beckman). La concentración de fósforo presente en el extracto se obtuvo por interpolación en una curva de calibrado.

La curva de calibrado se obtuvo tras realizar la cuantificación del fósforo en soluciones que contenían las siguientes concentraciones de fósforo: 0, 1, 10, 20, 30 y 45 µg/ml, según el procedimiento descrito.

El contenido en fósforo de la muestra, expresado como mg/kg, se calculó a partir de la concentración de fósforo determinada en la curva de calibrado, según la siguiente ecuación:

$$\text{Fósforo (mg/kg)} = \frac{A \times V}{M \times D}$$

donde A es la concentración en µg/ml de fósforo, leído sobre la curva de calibrado, contenidos en 10 ml de muestra mineralizada, V el volumen del matraz aforado en el cual se enrasa la muestra, M el peso en (g) de la muestra de partida y D el factor de dilución.

El contenido en fosfatos expresado como mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, se determinó a partir del contenido fósforo total de la muestra, según la siguiente expresión:

$$\text{P}_2\text{O}_5 \text{ (mg/kg)} = 2,29 \times \text{Fósforo (mg/kg)}$$

#### **4.2.3.12. Cálculo del porcentaje de salmuera**

La concentración de salmuera en el producto final expresada como porcentaje, se calculó mediante la expresión propuesta por Samelis y col. (2000):

$$\text{Salmuera (\%)} = \frac{\text{NaCl (\%)}}{\text{Humedad (\%)} + \text{NaCl (\%)}} \times 100$$

#### **4.2.3.13. Determinación del índice de oxidación**

La determinación del índice de oxidación se llevó a cabo mediante la determinación de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), de acuerdo con el método descrito por Tarladgis (1960). En este método, el malonaldehído (MDA) reacciona con dos moléculas de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) para formar un compuesto de color rosa que puede determinarse espectrofotométricamente a 532 nm.

En un matraz de fondo redondo se pesaron  $10 \pm 0,2$  g de muestra previamente picada a los que se añadieron 97,5 ml de agua destilada y 2,5 ml de una solución de ácido clorhídrico 4 N. Además, se añadieron 5-6 gotas de antiespumante y unas perlas de vidrio para evitar la formación de espuma y proyecciones durante la ebullición de las muestras. La mezcla se sometió a destilación hasta la obtención de 50 ml de destilado. Posteriormente, a 5 ml del destilado obtenido se le añadieron 5 ml de TBA 0,02 M recién preparado y la mezcla se agitó con un agitador vórtex durante 5 segundos, tras lo cual se incubó en un baño de agua hirviendo durante 35 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, la solución obtenida se dejó enfriar y se midió su absorbancia en un espectrofotómetro UV/Vis mod. DU® 640 (Beckman) a una longitud de onda de 532 nm, utilizando como blanco 5 ml de agua destilada junto con 5 ml del TBA 0,02 M.

Los valores de TBARS expresados como mg de malonaldehído/kg de muestra se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\text{MDA (mg/kg)} = A \times 7,8$$

donde A es la absorbancia obtenida tras la medida de las muestras en el espectrofotómetro y 7,8 es un factor establecido en el método y calculado

teniendo en cuenta el porcentaje de recuperación de una concentración conocida de la muestra.

#### **4.2.3.14. Determinación instrumental del color**

Para la medida instrumental del color se utilizó un espectrofotómetro de reflectancia mod. CM-2600d (Konica Minolta, Aquateknia S.A., Valencia, España) con el que se registraron los parámetros  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (rojo-verde),  $b^*$  (amarillo- azul) del espacio de color CIELAB.

A partir de los valores obtenidos para estos parámetros el equipo calculó la saturación  $C^*$  (cromaticidad) y la tonalidad  $H^*$  (ángulo Hue) mediante las siguientes fórmulas:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$H^* = \arctg(b^*/a^*)$$

Además, calculó el índice de nitrosilhemocromo como el valor de reflectancia obtenido a 650 nm dividido por el valor de la reflectancia obtenido a 570 nm de acuerdo con AMSA (1991).

Una vez calibrado el equipo con un blanco de calibración, se analizó el color de las muestras. La medida del color se realizó en 3 puntos que se fijaron sobre la superficie de corte de las lonchas de lomo Sajonia (extremos y centro de la loncha). Las condiciones utilizadas en el análisis fueron  $10^\circ$  como ángulo de observador y  $D_{65}$  como fuente de luz. El valor de cada uno de los parámetros de color se calculó como la media de las 3 medidas realizadas.

#### **4.2.3.15. Estimación de los diferentes estados de oxidación de la mioglobina**

Para evaluar los distintos estados de oxidación de la mioglobina (metamioglobina-MtMb, desoximioglobina-DMb y oximioglobina-MbO) se utilizó un espectrofotómetro de reflectancia mod. CM-2600d (Konica Minolta, Aquateknia S.A., Valencia, España) con el que se registraron los valores K/S (coeficiente de absorción/ coeficiente de dispersión) a diferentes longitudes.

El porcentaje en metamioglobina (MtMb), en desoximioglobina (DMb) y en oximioglobina (MbO) se calculó a partir de las siguientes relaciones de acuerdo con Mancini y col. (2003):

$$\text{MtMb} = (\text{K/S})_{572} / (\text{K/S})_{525}$$

$$\text{DMb} = (\text{K/S})_{474} / (\text{K/S})_{525}$$

$$\text{MbO} = (\text{K/S})_{610} / (\text{K/S})_{525}$$

Los K/S de las longitudes de onda 474, 525, 572 y 610 nm se obtuvieron por interpolación lineal entre los valores K/S de las diferentes longitudes de onda suministrados por el equipo, de acuerdo con Hunt y col. (1991).

#### **4.2.3.16. Determinación instrumental de la textura**

La determinación instrumental de la textura se realizó mediante el método imitativo análisis de perfil de textura (TPA-Texture Profile Analyse). Este método consiste en comprimir la muestra de un alimento entre dos superficies planas, dos veces sucesivas, con objeto de imitar la acción que efectuaría la mandíbula humana durante la masticación. Para ello, se utiliza un texturómetro dotado de un programa que permite la obtención de una curva fuerza-tiempo (figura 19), tras la realización de cada uno de los ensayos. A partir de esta curva se calculan los siguientes parámetros (Breene, 1975; Bourne, 2002):

*Dureza (N)*: corresponde en la gráfica con la altura del primer pico (Dureza 1). Equivale a la fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas o entre la lengua y el paladar, dependiendo de la naturaleza del producto.

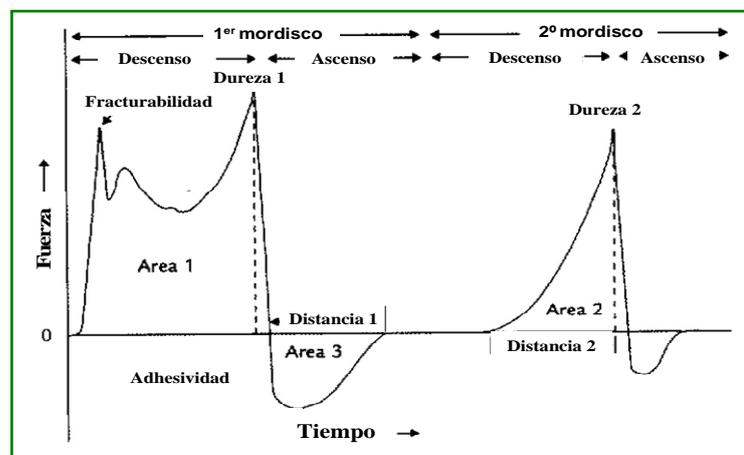
*Elasticidad*: corresponde en la gráfica, a la distancia en la cual el alimento recupera su altura durante el tiempo que transcurre entre el final del primer mordisco y el comienzo del segundo mordisco. Se define como la relación de tiempo entre el inicio del Área 2 y el regreso de la sonda en el segundo ciclo

con respecto al tiempo transcurrido entre el inicio del Área 1 y el regreso de la sonda en el primer ciclo de compresión (Distancia1/Distancia 2). Otra forma de expresarlo sería el grado hasta el cual regresa un producto a su forma original, una vez que ha sido comprimido entre los dientes.

*Cohesividad*: se calcula como la relación entre las áreas positivas de la gráfica (Área 2/Área 1). Equivale al grado hasta el que se comprime una sustancia entre los dientes, antes de romperse.

*Gomosidad (N)*: se obtiene como el producto entre la dureza y la cohesividad y se corresponde con la energía requerida para masticar un alimento sólido de modo que esté listo para ser ingerida.

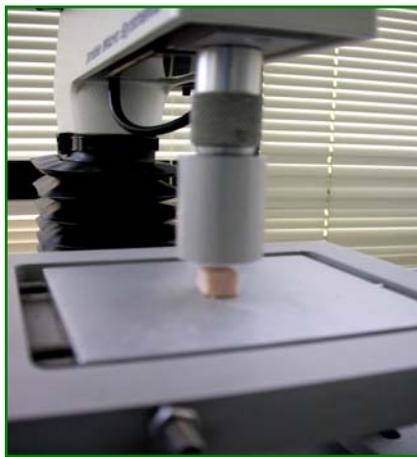
*Masticabilidad (N)*: se obtiene como el producto entre la dureza, la cohesividad y la elasticidad. Se corresponde con el trabajo requerido para masticar la muestra reduciéndola hasta lograr una consistencia adecuada para ingerirla.



**Figura 19.** Curva tipo obtenida en el análisis de perfil de textura (TPA). Fuente: Bourne (1978).

Para el análisis instrumental de textura, a partir de lonchas de lomo Sajonia se obtuvieron 6 muestras de lomo de 1 cm<sup>3</sup> (1x1x1). Cada muestra fue comprimida dos veces con un texturómetro Texture Analyser TA-XT2, hasta

el 50% de su altura inicial, con una sonda cilíndrica de 2,5 cm de diámetro, a una velocidad de 1,0 mm/s y a T<sup>a</sup> ambiente (20°C) (figura 20). Los valores de los diferentes parámetros se calcularon como la media de las 6 medidas realizadas por el equipo.

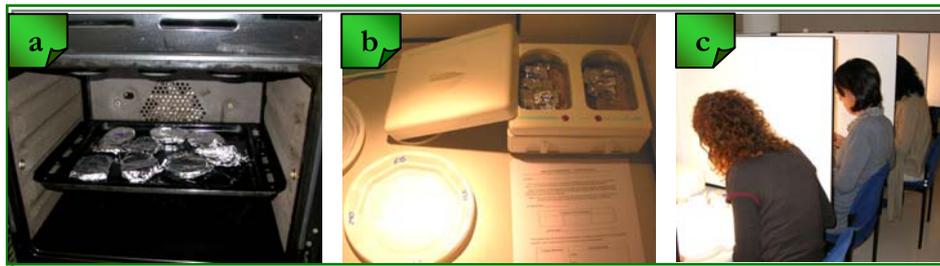


**Figura 20:** Medida instrumental de la textura.

#### **4.2.4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES SENSORIALES CON UN PANEL DE CATADORES**

En el desarrollo de esta Tesis Doctoral se realizaron pruebas de aceptación en los Estudios 2, 4 y 5 y pruebas triangulares y de preferencias en el Estudio 3. Las pruebas de aceptación se llevaron a cabo con el panel de catadores de la Estación Tecnológica de la Carne que está entrenado para el análisis sensorial de carne y productos cárnicos según las Normas UNE 87-024-1 (UNE, 1995) y UNE-EN ISO 8586-2 (UNE, 2009). Las pruebas triangulares y las de preferencias se llevaron a cabo con consumidores. Todas las pruebas se realizaron en salas de cata diseñadas en base a la Norma UNE 87-004 (UNE, 1979), a media mañana, con luz blanca y a una temperatura constante de 22°C. En cada cabina, los catadores disponían de agua mineral y de pan tostado sin sal para unificar las condiciones internas de la boca antes de la evaluación de cada muestra.

La preparación de las muestras para su consumo se llevó a cabo de la misma manera en todas las pruebas. Se cortaron lonchas de lomo Sajonia de 1 cm de grosor, que, una vez envueltas en papel de aluminio, se calentaron en un horno grill mod. HT-610-ME (Teka, Santander, España) hasta una temperatura interna de 68°C (figura 21a). A partir de las lonchas calentadas se obtuvieron submuestras de 2×4 cm<sup>2</sup>, que fueron envueltas de nuevo en papel de aluminio y se mantuvieron calientes en baños de arena mod. 212 (Solac, Vitoria, España) a una temperatura de 45°C (figura 21b) hasta su evaluación por los catadores (figura 21c).



**Figura 21.** a) preparación de muestras en el horno, b) muestras en los baños de arena y c) evaluación de las muestras de lomo en la sala de catas de la Estación Tecnológica de la Carne.

#### **4.2.4.1. Prueba de aceptación**

Para estudiar la influencia de la estrategia de elaboración en el lomo Sajonia (Estudio 2) y la evolución de las características sensoriales del lomo Sajonia elaborado con una concentración reducida de aditivos y del lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal, envasado al vacío y sometido a diferentes condiciones de conservación a lo largo del tiempo de almacenamiento (Estudios 4 y 5) se realizaron pruebas de aceptación.

Antes de llevar a cabo la realización de las pruebas de aceptación se entrenó el panel para el análisis específico del lomo Sajonia. Para ello, se realizaron varias sesiones en las cuales se familiarizó a los catadores con el producto.

Una vez realizado el entrenamiento específico del panel, se procedió al análisis de aceptación, utilizándose la hoja de cata que se muestra en la figura 22 en la que se incluyeron los siguientes parámetros:

- *Color*: valoración visual del tono, intensidad y luminosidad del color característico del producto y evaluación de defectos como presencia de colores anómalos, falta de homogeneidad del color, etc.
- *Olor*: valoración del olor característico asociado al proceso de elaboración (a humo, a especias, etc.) y de la presencia de olores anómalos, no típicos o debidos a procesos de deterioro.
- *Flavor*: valoración del flavor característico del producto asociado con el proceso de elaboración (a humo, a sal, a especias etc.) y presencia de flavor anómalo, no típico o debido a procesos de deterioro.
- *Pastosidad*: parámetro utilizado para evaluar la presencia de una textura defectuosa (excesivamente blanda y adhesiva) en el producto.
- *Jugosidad*: percepción de la cantidad de agua segregada en la boca al masticar el producto, durante los primeros mordiscos.
- *Valoración general del producto* realizada de forma objetiva teniendo en cuenta las puntuaciones dadas en los parámetros anteriores.

En cada prueba sensorial individual, las muestras preparadas se identificaron con un código compuesto por 3 números aleatorios elegidos al azar. Para la evaluación de los diferentes parámetros se utilizó una escala de 1 a 5 puntos (1=inaceptable, 2=malo, 3=aceptable, 4=bueno y 5=excelente) y, en la hoja de cata, se incluyeron también apartados en los que los catadores informaban de la aparición de caracteres extraños o anómalos especialmente cuando la puntuación era inferior a 3. Cuando valoración general del producto presentaba una puntuación inferior a 3 se consideraba que el producto no era aceptable.

#### **4.2.4.2. Prueba triangular**

Con objeto de conocer si existían diferencias entre los lotes experimentales de lomo Sajonia elaborados con diferentes estrategias (Estudio 3, Estrategias 1 y 2) tanto en el producto sin calentar como calentado se realizaron pruebas triangulares con consumidores según la Norma UNE-EN ISO 4120:2008 (UNE, 2008).

Para ello se utilizó la hoja de cata que se muestra en la figura 23. En cada prueba, a cada catador se le presentaron 3 muestras de lomo Sajonia codificadas, de las cuales 2 eran iguales y una era diferente y se le pidió que identificara la muestra que era diferente. Además, para obtener una mayor información, en la hoja de cata se incluyó una sección para que el catador indicara a qué eran debidas las diferencias encontradas.

#### **4.2.4.3. Prueba de preferencia**

Con objeto de conocer la preferencia de los catadores en relación a los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia elaborados con diferentes estrategias (Estudio 3, Estrategias 1 y 2), en el producto sin calentar se realizaron pruebas de preferencia con consumidores, según la Norma UNE-EN ISO 87005:1992 (UNE, 1992).

En la hoja de cata (figura 24), a los catadores se les pidió que indicaran qué muestra de las evaluadas prefería y cuáles eran las características de la muestra que le habían llevado a tomar esa decisión.

 <p><b>INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO</b> Junta de Castilla y León Consejería de Agricultura y Ganadería</p>	<p>Au. Filiberto Villalobos 7 37770 Gujuelo Salamanca</p> <p>T +34 923 508 488 F +34 923 588 363 www.itacyl.es</p>	<p>Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León</p>
--	--	--

**HOJA DE CATA- PRUEBA DE ACEPTACIÓN**

Nombre:..... Fecha: .....Código de la muestra: .....

Puntúe cada parámetro, de la muestra que se le presenta, en una escala de 1 a 5 teniendo en cuenta que: 5=excelente; 4=bueno; 3=aceptable; 2=malo y 1=inaceptable.

**ASPECTO VISUAL**

	1	2	3	4	5
COLOR DEL LOMO SAJONIA					

¿Colores anómalos?.....

**APRECIACIÓN OLFATIVA**

	1	2	3	4	5
OLOR DEL LOMO SAJONIA					

¿Olores anómalos? .....

**APRECIACIÓN GUSTATIVA**

	1	2	3	4	5
FLAVOR DEL LOMO SAJONIA					

¿Sabores/flavores anómalos? .....

**TEXTURA**

	1	2	3	4	5
PASTOSIDAD DEL LOMO SAJONIA					
JUGOSIDAD DEL LOMO SAJONIA					

¿Textura anómala? .....

Valoración general:

Figura 22. Hoja de cata utilizada para realizar la prueba de aceptación.

	<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO</b> Junta de Castilla y León Consejería de Agricultura y Ganadería	<b>Av. Filiberto Wilhelms 7 37701 Guijuelo Salamanca</b>	<b>T +34 923 500 400 F +34 923 500 353 www.itacyl.es</b>
		<b>Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León</b>	

**HOJA DE CATA- PRUEBA TRIANGULAR**

Nombre:..... Fecha:..... Número de prueba:.....

Ante usted hay tres muestras aparentemente idénticas, pero de ellas, dos son realmente iguales y una diferente. El objetivo de la prueba es **identificar la muestra diferente**.

Anote los códigos de las muestras en el orden correcto (de izquierda a derecha) y luego **marque con un círculo** el código de la muestra que considere diferente. Indique **por qué** cree usted, que la muestra es diferente.

Nota: Pruebe las muestras comenzando por la que se encuentra a su izquierda. Una vez probadas las 3 muestras, puede volver atrás para asegurar su respuesta.

**Nº DE PLATO:** .....

Códigos de las muestras		

¿Por qué es diferente?.....

*Gracias por su colaboración*

Figura 23. Hoja de cata utilizada para realizar la prueba triangular.

 <p><b>INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO</b> Junta de Castilla y León Consejería de Agricultura y Ganadería</p>	<p>Az. Filiberto Villalobos 7 37718 Gajaneja Salamanca</p>	<p>T +34 923 588 488 F +34 923 588 353 www.itacyl.es</p>
<p><b>Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León</b></p>		

**HOJA DE CATA- PRUEBA DE PREFERENCIA**

Nombre:..... Fecha:.....

Ante usted hay dos muestras marcadas con códigos. Anote los códigos de las muestras de izquierda a derecha.

Pruebe las muestras de izquierda a derecha. Espere, al menos 30 segundos, entre muestra y muestra y beba agua o coma pan si lo cree necesario.

Indique, **rodeando con un círculo**, cual de las dos muestras **prefiere**.

Códigos de las muestras	

**Indique las razones** por las que ha elegido la muestra que más le ha gustado:

.....

.....

*Gracias por su colaboración*

**Figura 24.** Hoja de cata utilizada para realizar la prueba de preferencia.

#### 4.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó un análisis de la varianza de una vía (ANOVA) en los Estudios 1-4 y un análisis factorial en el Estudio 5. Además, se analizaron las correlaciones entre los

distintos parámetros evaluados mediante el cálculo de la matriz de correlación de Pearson.

En el **Estudio 1** se evaluó la existencia o no de diferencias significativas en los parámetros analizados en función del tipo de masajeado aplicado (lotes experimentales y lote comercial). En el **Estudio 2** se evaluó por un lado la existencia o no de diferencias significativas para cada parámetro a lo largo de las distintas fases de elaboración para cada lote y entre los diferentes lotes en cada punto de muestreo y por otro las diferencias atribuibles a la utilización de diferentes formulaciones (lotes experimentales y lote comercial). En el **Estudio 3** se evaluó la existencia o no de diferencias significativas en los parámetros analizados tanto entre los lotes experimentales de lomo Sajonia de la Estrategia 1 como entre los lotes experimentales de lomo Sajonia de la Estrategia 2. En el **Estudio 4** se evaluó de forma independiente la existencia o no de diferencias significativas en los parámetros evaluados en cada una de las condiciones de almacenamiento utilizadas (luz, oscuridad) en función del tiempo de almacenamiento para cada lote o del lote para cada tiempo. En estos estudios (1-4), cuando se detectaron diferencias significativas en el ANOVA, se utilizó el test de Tukey HSD (Honest Significant Difference) para la separación de las medias.

En el **Estudio 5** se realizó un análisis factorial de tres factores (tipo de lote, tratamiento aplicado y tiempo de almacenamiento). Cuando las diferencias fueron significativas, las medias se separaron por el test de Fisher ( $LSD_{0,05}$ ).

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con un nivel de confianza del 95% y se utilizó el programa STATISTICA 7.0.



---

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---



## **5.1. ESTUDIO 1: ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA ECOLÓGICO. ADAPTACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN**

Como se ha mencionado en el apartado 4.1.1 del planteamiento experimental, el objetivo de este primer estudio fue adaptar el proceso de elaboración del lomo Sajonia, concretamente la etapa de masajeado, a la elaboración de este producto según las directrices de la legislación que regula la producción ecológica (con una cantidad añadida de nitritos de 80 mg/kg y sin el uso de fosfatos).

Para conseguir este objetivo se elaboraron tres lotes de lomo Sajonia con diferente velocidad y tiempo de trabajo mecánico y diferente tiempo de reposo durante la etapa de masajeado:

**Lote VB-21:** lomos sometidos a una etapa de masajeado constituida por un período de 3 h de trabajo mecánico intermitente llevado a cabo a velocidad baja de 4 rpm y un periodo de reposo de 21 h.

**Lote VB-42:** lomos en los que la etapa de masajeado anterior se repitió durante 2 días consecutivos, es decir, dos períodos de 3 h de trabajo mecánico intermitente llevado a cabo a velocidad baja de 4 rpm entre los que se intercalaron periodos de reposo de 21 h (42 h de reposo).

**Lote VA-21:** lomos sometidos a una etapa de masajeado constituida por un período de 3 h de trabajo mecánico intermitente llevado a cabo a velocidad alta de 8 rpm y un periodo de reposo de 21 h.

En cada lote se evaluó el efecto del tipo de masajeado en las pérdidas por cocción, el rendimiento, la composición centesimal, el contenido de cloruro sódico, de nitritos y de salmuera, el pH, la  $a_w$ , el AR, el color y la textura (TPA). Estos resultados fueron comparados con los obtenidos en lomo Sajonia comercial excepto el AR y la textura que no pudieron ser analizados en el producto comercial debido a su formato.

### 5.1.1. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Los resultados obtenidos para los parámetros tecnológicos evaluados en el lomo Sajonia elaborado con los diferentes tratamientos de masajeado se exponen en la tabla 8. No se encontraron diferencias estadísticas para las **pérdidas por cocción** ( $p>0,05$ ), sin embargo, en el **rendimiento** se encontraron diferencias ( $p<0,05$ ) entre el lomo Sajonia elaborado con el tratamiento VA-21 y los elaborados con los tratamientos VB-21 y VB-42.

**Tabla 8.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) para los parámetros tecnológicos evaluados en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado.

	VB-21	VB-42	VA-21
Pérdidas por cocción (%)	18,07 $\pm$ 0,29	16,84 $\pm$ 0,90	18,31 $\pm$ 2,25
Rendimiento (%)	<sup>A</sup> 78,95 $\pm$ 2,48	<sup>A</sup> 80,89 $\pm$ 6,51	<sup>B</sup> 99,90 $\pm$ 8,72

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ).

Estos resultados muestran que el aumento del tiempo de masajeado no supuso un incremento del rendimiento del producto. Boles y Shand (2002) indicaron que el realizar un masajeado durante 80 min frente a realizarlo durante 4 h no suponía ninguna mejora tecnológica en la elaboración de un producto cocido de ternera inyectado con un 25 o un 50% de salmuera. Sin embargo, Palang (2004) y Pietrasik y Shand (2004) señalaron que un aumento en el tiempo de masajeado desde 2 hasta 16 h mejoraba el rendimiento de los productos cocidos elaborados a partir de carne de pollo y de ternera. También Gillett y col. (1981) indicaron que el rendimiento del jamón cocido aumentaba al incrementar el tiempo de masajeado de 4 a 20 h; sin embargo, este efecto no era tan evidente a tiempos de masajeado superiores a 20 h. Este hecho podría justificar que en nuestro estudio no se obtuvieran diferencias en el rendimiento al aumentar de 24 a 48 h el tiempo de masajeado.

En cuanto a la velocidad a la que se llevaron a cabo los periodos de trabajo mecánico de los diferentes tipos de masajeado, un incremento de 4 a 8

rpm permitió aumentar el rendimiento desde un 78,95 a un 99,90%. El masajeado implica daños en la estructura muscular que facilitan la incorporación y distribución de la salmuera y favorece la extracción de las proteínas miofibrilares (Domínguez-Fernández, 1997; Guner y col., 2008). Un aumento de la velocidad de masajeado implica una solubilización proteica más alta que podría mejorar el rendimiento, aunque también tiene lugar una mayor rotura muscular (Xargayó y Lagares, 2010). En este sentido, el mayor rendimiento obtenido cuando el masajeado se llevó a cabo a 8 rpm podría ser debido a que se proporcionaron las condiciones más favorables para una mayor extracción y solubilización de las proteínas.

### 5.1.2. COMPOSICIÓN CENTESIMAL Y CONTENIDO DE ADITIVOS

Los resultados obtenidos para la composición centesimal (humedad, proteína, grasa y cenizas) para el contenido de NaCl y de nitritos y para la cantidad de salmuera retenida en los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia y en el lomo Sajonia comercial se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) para la composición centesimal, el contenido en NaCl y en nitritos y para la cantidad de salmuera retenida en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado y en el lomo Sajonia comercial.

	VB-21	VB-42	VA-21	Comercial
<b>Humedad (%)</b>	<sup>A</sup> 70,50 $\pm$ 0,14	<sup>AB</sup> 71,55 $\pm$ 0,45	<sup>B</sup> 72,87 $\pm$ 0,97	<sup>AB</sup> 71,23 $\pm$ 4,69
<b>Proteína (%)</b>	21,25 $\pm$ 2,46	21,00 $\pm$ 0,80	21,20 $\pm$ 0,47	21,85 $\pm$ 3,02
<b>Grasa (%)</b>	<sup>B</sup> 5,80 $\pm$ 2,35	<sup>AB</sup> 4,15 $\pm$ 0,92	<sup>AB</sup> 2,87 $\pm$ 1,16	<sup>A</sup> 1,71 $\pm$ 1,02
<b>Cenizas (%)</b>	<sup>A</sup> 2,63 $\pm$ 0,09	<sup>A</sup> 2,81 $\pm$ 0,22	<sup>A</sup> 2,31 $\pm$ 0,52	<sup>B</sup> 3,31 $\pm$ 0,39
<b>NaCl (%)</b>	4,20 $\pm$ 1,13	5,88 $\pm$ 0,37	4,04 $\pm$ 1,09	4,55 $\pm$ 1,08
<b>Nitritos (mg/kg)</b>	<sup>A</sup> 27,36 $\pm$ 1,17	<sup>A</sup> 33,32 $\pm$ 9,24	<sup>A</sup> 30,34 $\pm$ 6,74	<sup>B</sup> 90,33 $\pm$ 35,62
<b>Cantidad de salmuera (%)</b>	5,7 $\pm$ 2,0	7,6 $\pm$ 0,5	5,2 $\pm$ 1,6	6,0 $\pm$ 1,1

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Para la **humedad** se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el lomo Sajonia del lote VA-21 y el del lote VB-21, siendo el del lote VA-21 el que presentó el mayor porcentaje de humedad. Este resultado es acorde con los resultados obtenidos en el rendimiento.

En el porcentaje de **proteína** no se encontraron diferencias entre lotes ( $p > 0,05$ ), sin embargo, el porcentaje de **grasa** fue menor ( $p < 0,05$ ) en el lote comercial. Posiblemente, esto pudo ser debido a diferencias en las características de la materia prima usada para la elaboración del lomo Sajonia. Así, la utilización de pernils o lomos procedentes de animales sacrificados a diferente edad, con una alimentación diferente y/o una genética distinta, afecta a las características de la carne de partida y, por tanto, a la de los productos obtenidos (García-Rey, 2004).

El lomo Sajonia comercial también presentó el mayor contenido en **cenizas** y de **nitritos** residuales. Según la legislación actual (DOUE, 2008a; DOUE, 2011), la cantidad máxima de nitritos a añadir en la elaboración de productos cárnicos cocidos es de 150 mg/kg. Por ello es posible que el lomo Sajonia comercial hubiera sido elaborado con una salmuera con una mayor concentración en nitritos que la utilizada para la elaboración del lomo Sajonia experimental (80 mg/kg). Por otro lado, el mayor contenido de nitritos y el hecho de que el lomo comercial incluyera en su composición un mayor número de aditivos (de acuerdo con su etiquetado) implicó que este lote presentara un mayor ( $p < 0,05$ ) porcentaje de cenizas.

En el contenido de **NaCl** y la **cantidad de salmuera** no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre lotes. Sin embargo, Dzudie y Okubanjo (1999) encontraron un mayor contenido en NaCl en el jamón cocido de cabra masajeado durante 6 h que en el masajeado durante 2 h. Krause y col. (1978) indicaron que el proceso de masajeado favorece la migración del NaCl y, por ello, un masajeado largo permite aumentar el contenido de NaCl en el producto final. En nuestro estudio, el que el aumento del tiempo de masajeado desde 21 hasta 42 h no afectara a los parámetros

tecnológicos estudiados podría indicar que un tiempo de reposo de 21 h fue suficiente para conseguir la máxima retención de salmuera. En este sentido indicar que la matriz cárnica que se forma durante el masajeado tiene una capacidad limitada de retener la salmuera, especialmente cuando no se utilizan aditivos como los fosfatos.

Por último, en relación al efecto del aumento de la velocidad, el hecho de no encontrar diferencias ni en el porcentaje de NaCl, ni en la cantidad de salmuera podría ser debido a la baja magnitud de las diferencias encontradas en el rendimiento (tabla 12).

### 5.1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Los resultados obtenidos para el pH, la  $a_w$  y el AR en los diferentes lotes de lomo Sajonia analizados se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) para el pH, la  $a_w$  y el AR en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado y en el lomo Sajonia comercial.

	VB-21	VB-42	VA-21	Comercial
pH	<sup>A</sup> 5,93 $\pm$ 0,03	<sup>A</sup> 5,82 $\pm$ 0,07	<sup>A</sup> 5,89 $\pm$ 0,02	<sup>B</sup> 6,18 $\pm$ 0,06
$a_w$	<sup>B</sup> 0,981 $\pm$ 0,004	<sup>B</sup> 0,979 $\pm$ 0,001	<sup>B</sup> 0,981 $\pm$ 0,003	<sup>A</sup> 0,973 $\pm$ 0,004
AR (%)	<sup>A</sup> 89,57 $\pm$ 0,24	<sup>AB</sup> 89,61 $\pm$ 0,25	<sup>B</sup> 90,02 $\pm$ 0,13	NA

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).  
NA: no analizado.

Para el **pH** no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre los diferentes lotes de lomo Sajonia experimental, sin embargo, sí se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) entre éstos y el lote comercial. El lomo Sajonia comercial presentó un pH mayor, posiblemente, debido a que en su elaboración fueron incluidos otros aditivos como los fosfatos. Este resultado estaría de acuerdo con el encontrado por Chen y Ockerman (2003) que observaron en redondo de

ternera cocido elaborado sin fosfatos o con un 0,5% de fosfatos añadidos, un aumento del pH desde 5,77 hasta 5,95. También, en este sentido, Palacios (2003) apuntó que los fosfatos pueden aumentar el pH de la carne entre 0,1 y 0,6 unidades, en función del tipo de fosfato utilizado y de la cantidad añadida.

En la  $a_w$  no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre los diferentes lotes de lomo Sajonia elaborados con los diferentes tratamientos de masajeado, aunque sí se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) entre el lote comercial y los experimentales. Fernández-Salguero y col. (1994) indicaron que en los productos cárnicos, la  $a_w$  depende tanto de los ingredientes (cloruro sódico, azúcares, etc.) y de los aditivos utilizados (nitritos, nitratos, fosfatos, etc.) como del proceso de elaboración. En este sentido, cuanto mayor es la concentración de ingredientes y aditivos menor es la  $a_w$  (Comaposada y col., 2000) ya que cuando éstos se disuelven tiene lugar una reducción de la concentración de agua y, por tanto, un cambio de presión de vapor (Comaposada y col., 1998). Por otro lado, también un incremento en la temperatura durante el proceso de elaboración de los productos cárnicos puede dar lugar a una disminución de la  $a_w$  (Comaposada y col. 2000). En este ensayo, el menor valor de  $a_w$  en el lomo Sajonia comercial posiblemente fue debido a que se elaboró con un mayor contenido en aditivos y a diferencias en la etapa de cocción.

En cuanto al **AR**, sólo el incremento de la velocidad a la que se llevó a cabo el trabajo mecánico durante el masajeado permitió obtener un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de este parámetro. De acuerdo con Straadt y col. (2007) y Stadnik y col. (2008), el AR depende de la organización estructural de las proteínas musculares ya que, en función de sus características el agua se distribuirá dentro de la carne de forma diferente. Durante la etapa de masajeado se produce la degradación proteolítica del citoesqueleto de las proteínas, lo que implica un aumento del volumen de las miofibrillas, y se favorece la retención de una mayor cantidad de salmuera en las mismas (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). Este hecho indicaría que la matriz cárnica formada en los lomos masajeados a 8 rpm tuvo mayor capacidad para atrapar

agua que la formada aplicando los otros dos tratamientos de masajeado, coincidiendo este resultado con el encontrado para la humedad. De hecho, se encontró una correlación positiva entre ambos parámetros ( $r= 0,81$ ,  $p<0,05$ ).

#### 5.1.4. EVALUACIÓN INSTRUMENTAL DEL COLOR

Los resultados obtenidos en la medida del color de forma instrumental en los diferentes lotes de lomo Sajonia analizados se recogen en la tabla 11.

**Tabla 11.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la medida del color de forma instrumental en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado y en el lomo Sajonia comercial.

	VB-21	VB-42	VA-21	Comercial
<b>L*</b>	72,03 $\pm$ 1,89	72,18 $\pm$ 0,87	74,76 $\pm$ 2,55	72,59 $\pm$ 0,23
<b>a*</b>	B6,34 $\pm$ 1,02	B6,12 $\pm$ 1,26	AB5,06 $\pm$ 1,13	A3,61 $\pm$ 0,39
<b>b*</b>	8,62 $\pm$ 0,18	8,23 $\pm$ 0,40	8,97 $\pm$ 0,55	9,29 $\pm$ 0,05
<b>C*</b>	10,73 $\pm$ 0,58	10,30 $\pm$ 1,00	10,33 $\pm$ 0,98	9,97 $\pm$ 0,07
<b>H*</b>	A53,82 $\pm$ 4,48	A53,66 $\pm$ 5,37	AB60,84 $\pm$ 4,17	B66,96 $\pm$ 3,51
<b>Nitrosilhemocromo</b>	B1,65 $\pm$ 0,10	AB1,61 $\pm$ 0,12	AB1,54 $\pm$ 0,12	A1,43 $\pm$ 0,05

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ).

Entre los lotes de lomo Sajonia ecológico elaborados con diferentes tratamientos de masajeado no se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en ninguno de los parámetros de color evaluados. En principio, un aumento del tiempo de masajeado debería tener un efecto positivo en el desarrollo del color ya que los nitritos disponen de mayor tiempo para poder reaccionar con la mioglobina y dar lugar a la formación de la nitrosomioglobina, pigmento precursor del nitrosilhemocromo (Xargayó y Lagares, 2010). Sin embargo, los resultados obtenidos en nuestro estudio

indican que todas las condiciones de masajeado probadas fueron adecuadas para obtener un color rosado típico.

Entre los lotes experimentales y el comercial no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) en los parámetros **L\***, **b\*** y **C\*** y sí se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para **a\***, **H\*** y el contenido en **nitrosilhemocromo**. El lomo Sajonia comercial presentó los valores más bajos de **a\*** y de nitrosilhemocromo y más altos de **H\***. Este resultado puede resultar llamativo teniendo en cuenta que el lomo comercial tenía los valores más altos de nitrito residual. Sin embargo, es preciso indicar que, la formación de nitrosilhemocromo no sólo depende de la cantidad de nitritos presentes en la salmuera, sino que también viene definida por la cantidad y el estado químico de la mioglobina (desoximioglobina, oximioglobina, metamioglobina). Así, Benjamin y Collins (2003) señalaron que la intensidad de color en salchichas cocidas elaboradas con diferentes niveles de nitrito dependía del contenido en mioglobina de la carne y que, además, esta proteína no se transformaba completamente en la forma nitrosada. Por otro lado, estos autores señalaron que la tonalidad (**H\***) disminuye cuando los niveles de mioglobina en la carne aumentan o cuando se adicionan niveles decrecientes de nitrito. Estas observaciones estarían de acuerdo con los resultados obtenidos en nuestro estudio, ya que los lotes experimentales de lomo Sajonia son los que se elaboraron con un menor porcentaje de nitrito y presentaron valores de **H\*** menores. Además, al ser elaborados los lotes experimentales y el comercial con diferente materia prima, es posible que el contenido en mioglobina de la misma fuera diferente.

#### **5.1.5. EVALUACIÓN INSTRUMENTAL DE LA TEXTURA (TPA)**

Los valores obtenidos en los parámetros de textura medidos de forma instrumental en el lomo Sajonia elaborado con diferentes tratamientos de masajeado se muestran en la tabla 12.

En relación a la **dureza**, sólo se encontraron diferencias debidas a la velocidad, siendo el lomo Sajonia del tratamiento VB-21 más duro que el lomo Sajonia del tratamiento VA-21 ( $p < 0,05$ ). Se ha demostrado ampliamente, que el masajeado induce cambios físicos que modifican la estructura de la carne y pueden dar lugar a una disminución de la dureza (Tyszkiewicz, 1995; Lachowicz y col., 2003; Xargayó y col., 2010). Durante el masajeado, las proteínas miofibrilares experimentan un aumento de su tamaño (Müller, 1989; Tyszkiewicz y col., 1995) y el tejido conectivo puede verse dañado (Müller, 1991; Xargayó y col., 2010). El hecho de que el lomo Sajonia del tratamiento VA-21 fuera elaborado con un masajeado, que implicó un trabajo mecánico más agresivo, pudo dar lugar a mayores cambios en la estructura del músculo.

**Tabla 12.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en el análisis del perfil de textura en el lomo Sajonia ecológico elaborado con diferentes tratamientos de masajeado.

	VB-21	VB-42	VA-21
<b>Dureza (N)</b>	<sup>B</sup> 31,13 $\pm$ 8,80	<sup>AB</sup> 29,71 $\pm$ 3,51	<sup>A</sup> 18,44 $\pm$ 2,83
<b>Elasticidad</b>	0,59 $\pm$ 0,03	0,66 $\pm$ 0,07	0,59 $\pm$ 0,01
<b>Cohesividad</b>	<sup>A</sup> 0,48 $\pm$ 0,01	<sup>A</sup> 0,47 $\pm$ 0,00	<sup>B</sup> 0,56 $\pm$ 0,01
<b>Gomosidad (N)</b>	15,08 $\pm$ 4,48	14,07 $\pm$ 2,12	10,38 $\pm$ 1,65
<b>Masticabilidad (N)</b>	8,91 $\pm$ 2,66	9,37 $\pm$ 1,75	6,13 $\pm$ 1,05

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

En la **elasticidad**, **gomosidad** y **masticabilidad** no se detectaron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre los lomos elaborados con los tres tratamientos de masajeado aplicados. Sin embargo, la **cohesividad** del lomo Sajonia del tratamiento VA-21 fue mayor ( $p < 0,05$ ). Este resultado estaría de acuerdo con el obtenido por Müller (1989) que señaló que el proceso de masajeado induce una disminución de la dureza y un aumento de la cohesividad de la carne cocida. También, Lachowicz y col. (2003), en el músculo *Quadriceps femoris*,

describieron valores más bajos de dureza y más altos de cohesividad al aumentar la velocidad de masajeado, lo que atribuyeron a una mayor extracción de las proteínas miofibrilares.

#### **5.1.6. RESUMEN**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Estudio 1 se puede decir que de los tres tipos de masajeado utilizados en la elaboración de lomo Sajonia ecológico, el masajeado que incluía un trabajo mecánico llevado a cabo a una velocidad de 8 rpm y una etapa de reposo de 21 h, permitió obtener un lomo Sajonia con mayor rendimiento, mayor porcentaje de humedad, menor dureza y mayor cohesividad.

Comparando los resultados obtenidos en los lotes experimentales de lomo Sajonia con los obtenidos para el lomo Sajonia comercial, se encontraron diferencias en alguno de los parámetros analizados, que fueron atribuidas a la utilización de diferentes materias primas (en el caso del contenido en grasa, nitrosilhemocromo,  $a^*$  y  $H^*$ ) o al uso de diferentes cantidades y número de aditivos (en el caso del contenido en nitritos, cenizas, pH y  $a_w$ ). En ningún caso, las diferencias encontradas supusieron un detrimento de la calidad del lomo Sajonia ecológico experimental.

Por tanto, los resultados obtenidos indican que la utilización de concentraciones bajas de nitritos (80 ppm) en la elaboración de lomo Sajonia junto con un aumento de la velocidad a la que se lleva a cabo la etapa de masajeado, permite obtener lomo Sajonia con unas características físico-químicas adecuadas y similares a las obtenidas para un producto comercial (elaborado con mayor cantidad de nitritos).

## 5.2. ESTUDIO 2: ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN EXTRACTO VEGETAL

Una vez determinadas las condiciones de masajeado más adecuadas para la elaboración del lomo Sajonia ecológico, en este segundo estudio se abordó la eliminación de la adición directa de nitritos mediante el empleo de un extracto vegetal de apio y zanahoria (fuente natural de nitratos) y un cultivo iniciador con actividad nitrato reductasa (*Staphylococcus carnosus*).

Para ello se consideraron los siguientes lotes de lomo Sajonia:

**Lote ECO:** lomo Sajonia elaborado de acuerdo con la legislación que regula la producción ecológica (80 mg/kg de nitritos y sin fosfatos).

**Lote V:** lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal de apio y zanahoria (1,32%) y sin fosfatos (según establece la legislación que regula la producción ecológica).

**Lote VF:** lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal de apio y zanahoria (1,32%) y con fosfatos añadidos (1.000 mg/kg).

**Lote COM:** lomo Sajonia existente en el mercado nacional, elaborado con nitritos y con fosfatos.

En los lotes experimentales se evaluó, a lo largo del proceso de elaboración, la influencia de la inclusión del extracto vegetal en la flora microbiana, en el pH, en el contenido en nitratos y en nitritos y en el desarrollo del color (estados de oxidación de la mioglobina). Además, en el producto final se evaluó su efecto en las pérdidas por cocción, en el rendimiento, en la composición centesimal, en el contenido de aditivos y de salmuera, en el pH, en la  $a_w$ , en el AR, en el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$  y nitrosilhemocromo) y en la textura (TPA). Por último, se realizó un análisis sensorial (test de aceptación) con un panel de catadores entrenados. Los resultados obtenidos en el producto final fueron comparados con los obtenidos en lomo Sajonia comercial excepto

el AR y la textura que no pudieron ser analizados en el producto comercial debido a su formato.

## 5.2.1. RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN

### 5.2.1.1. Resultados microbiológicos

Los resultados obtenidos para los parámetros microbiológicos evaluados en el lomo Sajonia de los tres lotes experimentales se recogen en la tabla 13.

**Tabla 13.** Recuentos microbiológicos (log ufc/g) (media  $\pm$  desviación estándar) a lo largo del proceso de elaboración de los tres lotes experimentales.

	Lote	Materia prima	Lomo inyectado	Lomo masajeado	Lomo Sajonia
FAMV*	ECO	3,81 $\pm$ 0,09	<sup>A</sup> 4,20 $\pm$ 0,11	<sup>A</sup> 3,26 $\pm$ 0,35	<1
	V	3,81 $\pm$ 0,09 <sub>a</sub>	<sup>B</sup> 7,41 $\pm$ 0,10 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 7,39 $\pm$ 0,9 <sub>b</sub>	<1
	VF	3,81 $\pm$ 0,09 <sub>a</sub>	<sup>B</sup> 7,54 $\pm$ 0,35 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 7,52 $\pm$ 0,35 <sub>b</sub>	<1
CGC+**	ECO	2,36 $\pm$ 0,31	<sup>A</sup> 3,65 $\pm$ 0,07	<sup>A</sup> 2,98 $\pm$ 0,35	<2
	V	2,36 $\pm$ 0,31 <sub>a</sub>	<sup>B</sup> 6,92 $\pm$ 0,16 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 7,34 $\pm$ 0,12 <sub>b</sub>	<2
	VF	2,36 $\pm$ 0,31 <sub>a</sub>	<sup>C</sup> 7,31 $\pm$ 0,06 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 7,15 $\pm$ 0,34 <sub>b</sub>	<2

<sup>a-c</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada microorganismo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) durante el proceso de elaboración.

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada microorganismo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

\*FAMV: Flora Aerobia Mesófila Viable.

\*\* CGC+: Cocos Gram Positivos Catalasa Positiva.

Los recuentos de **FAMV** y de **CGC+** obtenidos en la materia prima fueron de 2,3 y 3,8 log ufc/g, respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro del rango indicado por Viana y col. (2005) en lomo de cerdo (recuentos de 2-4 log ufc/g) considerado habitual para este tipo de carne.

Durante el procesado, los recuentos de FAMV y de CGC+ obtenidos en el lote ECO se mantuvieron constantes ( $p > 0,05$ ) hasta que se llevó a cabo la etapa de cocción. Sin embargo, en los otros dos lotes (V y VF) aumentaron tras la inyección ( $p < 0,05$ ) y se mantuvieron constantes ( $p > 0,05$ ) hasta la cocción. Este comportamiento era el esperado, ya que las salmueras que se inyectaron durante la elaboración de los lotes V y VF contenían un cultivo estérter (*Staphylococcus carnosus*) con objeto de reducir los nitratos, presentes en los vegetales añadidos, a nitritos. De acuerdo con Mata (1999) para que los cultivos estérter puedan desarrollar su función tecnológica deben estar presentes en la masa cárnica en un número superior a 6 log ufc/g. Por tanto, los recuentos obtenidos indicaron que la cantidad inyectada era adecuada.

Después de la cocción, en los tres lotes experimentales, los recuentos de FAMV y de CGC+ estuvieron por debajo del límite de detección, lo que indica que esta etapa se llevó a cabo correctamente. Habitualmente, las temperaturas que se alcanzan durante la etapa de cocción en los productos cárnicos cocidos (temperaturas de pasteurización) son capaces de inhibir el crecimiento de la mayoría de los microorganismos, pudiendo sobrevivir a dicho tratamiento sólo las bacterias esporuladas de la familia *Bacillaceae* (Mossel y Moreno, 1985).

Entre los lotes elaborados se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los recuentos de FAMV y de CGC+ después de la inyección y después del masajeado. Este hecho se debió a que, como se ha comentado anteriormente, la salmuera utilizada en la elaboración de los lotes V y VF incluía un cultivo estérter. Las diferencias encontradas en los recuentos de CGC+ entre los dos lotes en los que se añadieron cultivos estérter tras la inyección pudieron ser debidas a que la salmuera se distribuyó de forma poco homogénea durante la fase de inyección, lo cuál fue solventado durante la fase de masajeado de acuerdo con los recuentos obtenidos tras esta etapa.

#### **5.2.1.2. Resultados físico-químicos**

Los valores obtenidos en la evaluación del pH y del contenido en nitratos y en nitritos, en los diferentes puntos de muestreo a lo largo del

## Resultados y Discusión

proceso de elaboración de los tres lotes experimentales de lomo Sajonia, se muestran en la tabla 14.

En los tres lotes experimentales, los valores iniciales de **pH** estuvieron dentro del rango de valores encontrado en este músculo por otros autores (García-Cachán, 1992; Wasilewski y col., 2009) y no se modificaron ( $p > 0,05$ ) tras la inyección de la salmuera y el masajeado. Tras la cocción, los valores de pH aumentaron ( $p < 0,05$ ) debido a la modificación conformacional que experimentan las proteínas de la carne durante su desnaturalización por calor (Ledward, 1979; Szerman, 2007).

**Tabla 14.** Evolución del pH, del contenido en nitratos y nitritos (media  $\pm$  desviación estándar) a lo largo del proceso de elaboración de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia.

	Lote	Materia prima	Lomo inyectado	Lomo masajeado	Lomo Sajonia
pH	ECO	5,50 $\pm$ 0,13 <sub>a</sub>	5,48 $\pm$ 0,03 <sub>a</sub>	<sup>AB</sup> 5,53 $\pm$ 0,03 <sub>a</sub>	5,89 $\pm$ 0,07 <sub>b</sub>
	V	5,52 $\pm$ 0,06 <sub>a</sub>	5,51 $\pm$ 0,10 <sub>a</sub>	<sup>A</sup> 5,48 $\pm$ 0,05 <sub>a</sub>	5,82 $\pm$ 0,06 <sub>b</sub>
	VF	5,59 $\pm$ 0,00 <sub>a</sub>	5,61 $\pm$ 0,01 <sub>a</sub>	<sup>B</sup> 5,59 $\pm$ 0,03 <sub>a</sub>	5,88 $\pm$ 0,02 <sub>b</sub>
Nitratos (mg/kg)	ECO	<20	<20	<20	<20
	V	<20	74,00 $\pm$ 17,35	89,00 $\pm$ 3,46	<20
	VF	<20	104,33 $\pm$ 11,55	114,67 $\pm$ 13,32	<20
Nitritos (mg/kg)	ECO	<10	71,14 $\pm$ 13,93 <sub>b</sub>	40,75 $\pm$ 5,71 <sub>a</sub>	<sup>A</sup> 39,50 $\pm$ 2,89 <sub>a</sub>
	V	<10	<10	<10	<sup>B</sup> 109,20 $\pm$ 24,89
	VF	<10	<10	<10	<sup>B</sup> 129,06 $\pm$ 5,96

<sup>a-b</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) durante el proceso de elaboración.

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

Entre lotes, sólo se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) en el pH después del masajeado. En este punto, el lote VF presentó valores más altos de pH que el lote V. Dado que la única diferencia en la elaboración de los dos lotes fue la

inclusión o no de fosfatos en la salmuera, la presencia de este aditivo sería la responsable del mayor pH del lote en el que fue incluido. De acuerdo con Palacios (2003), los fosfatos utilizados en la elaboración de productos cárnicos (habitualmente fosfatos alcalinos) pueden aumentar el pH de la carne entre 0,1 y 0,6 unidades.

Después de la cocción, no se encontraron diferencias entre lotes ( $p > 0,05$ ). En los productos cárnicos cocidos, el pH depende del proceso de elaboración, siendo la cocción y la concentración de fosfatos los principales responsables del pH del producto final. Durante la cocción, en las proteínas cárnicas debido a su desnaturalización se producen cambios conformacionales que implican un incremento del pH (Ledward, 1979) debido a que los grupos carboxilos quedan libres y a que tiene lugar la liberación de iones  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$  (Medynski y col., 2000). Por otro lado, los fosfatos incrementan el pH de la carne pero dependiendo del tipo y de la concentración de fosfatos utilizada, su efecto puede ser mayor o menor. Así, Fernández-Martín y col. (2002), Cheng y Ockerman (2003) y Pietrasik y Janz (2009) observaron un incremento en el pH en diferentes productos cárnicos, en los que se incluyeron fosfatos (2.500-5.000 mg/kg) frente a los elaborados sin fosfatos. Por el contrario, Keenan y col. (2010) no encontraron ningún efecto derivado en el pH de la utilización (1.500 ó 3.000 mg/kg) o no de fosfatos. En nuestro estudio, el que el pH final fuera igual en todos los lotes pudo ser debido tanto a que en ellos la cocción fue similar como a que la cantidad de fosfatos utilizada fue pequeña (1.000 mg/kg).

Por último, indicar que los resultados obtenidos en el producto final de todos los lotes están de acuerdo con los encontrados por Samelis y col. (2000) en lomo de cerdo cocido y por Rubio y col. (2009) en lomo Sajonia.

En cuanto a los niveles de **nitratos** residuales, los valores obtenidos en el lomo Sajonia perteneciente al lote ECO permanecieron por debajo del límite de detección a lo largo de todo el proceso de elaboración.

En los lotes V y VF, tras la inyección de la salmuera que contenía el extracto vegetal, los niveles de nitratos fueron similares y acordes a lo esperado

si se tiene en cuenta que el extracto utilizado presentaba un contenido de nitratos de 25,27 g/kg y el porcentaje de inyección real. En estos lotes, los valores de nitratos residuales permanecieron constantes hasta el final de la etapa de masajeado, lo que indicó que durante esta etapa no se transformaron en nitritos a pesar de estar presente el cultivo estértil con capacidad nitrato reductasa. Casaburi y col. (2005) indicaron que la actividad nitrato reductasa de *Staphylococcus carnosus* es efectiva a temperaturas superiores a 30°C, por lo que el resultado obtenido es adecuado ya que el masajeado se realizó a una temperatura controlada de 2°C. Tras la etapa de cocción, los valores de nitratos disminuyeron hasta valores por debajo del límite de detección. Sindelar y col. (2007a, b) obtuvieron reducciones del contenido en nitratos del 62% y del 72%, cuando elaboraron salchichas cocidas y jamón cocido con extractos vegetales con un periodo de incubación de 30 min a 40°C previo a la cocción. Estos autores apuntaron que realizando un periodo de incubación de 120 min a 40°C, se podían alcanzar reducciones superiores, entorno al 90%. En nuestro estudio, los lomos permanecieron a temperaturas comprendidas entre 30 y 45°C durante 150 min que fueron suficientes para reducir todos los nitratos.

Entre lotes, a lo largo del proceso de elaboración, el contenido de nitratos fue menor ( $p < 0,05$ ) en el lomo Sajonia del grupo ECO, ya que no se incluyeron nitratos en su formulación y, como se esperaba, no se observaron diferencias entre los lotes V y VF ( $p > 0,05$ ).

La evolución del contenido en **nitritos** residuales fue diferente a lo largo del proceso de elaboración de los tres lotes experimentales de lomo Sajonia. En el lote ECO, el contenido de nitritos fue de 71 mg/kg después de la inyección de la salmuera, que fue formulada para obtener 80 mg de nitrito de sodio/kg de producto. Durante la etapa de masajeado, la concentración de nitritos se redujo en un 43%. Esto se debió a que, por un lado, la realización del masajeado al vacío favorece la conversión del nitrito a NO al crearse condiciones reductoras más propicias (Tantikarnjathep y col., 1983) y, por otro, el trabajo mecánico que se ejerce sobre los lomos durante esta etapa da lugar a la rotura de estructuras celulares favoreciéndose la liberación de la mioglobina que reacciona con el NO para formar nitrosilmioglobina (Cassens y col., 1979;

Adamsen y col., 2006; Sebranek y Bacus, 2007). Tras la cocción, el contenido en nitritos del lote ECO permaneció constante ( $p > 0,05$ ). En estudios realizados en jamón cocido elaborado con 80 mg/kg de nitrito de sodio, tras la cocción se obtuvieron niveles residuales de nitritos por debajo del límite de detección (Sánchez y col., 2010). También, en productos cocidos comerciales se han observado diferencias en los niveles de nitritos residuales entre el lomo Sajonia y el jamón cocido (Rubio y col., 2009). La cantidad de nitrito presente en los productos cárnicos no permanece constante durante el procesado sino que disminuye, aunque esta disminución está influenciada por el pH y la temperatura (Nordin, 1969; Lin y Sebranek, 1979; Deniz y Serdaroglu, 2003). Así se ha indicado que un aumento de 0,2 unidades de pH durante la elaboración del producto puede dar lugar a una disminución de la velocidad a la que se llevan a cabo las reacciones de curado. Por otro lado, la desnaturalización de las proteínas que se produce al aumentar la temperatura durante la cocción implica un incremento del pH (Ledward, 1979). Teniendo en cuenta que habitualmente, la temperatura final de cocción del lomo Sajonia y del jamón cocido es la misma ( $68^{\circ}\text{C}$  en el centro de la pieza), las diferencias en los niveles residuales de nitritos tras la cocción entre ellos, podrían ser debidas a que el tiempo necesario para alcanzar dicha temperatura es mayor en el jamón cocido debido tanto al calibre de la pieza como al tipo de cocción (en molde). Esto podría implicar un aumento más lento del pH lo que favorecería una mayor reducción del contenido en nitritos en este producto. En pechuga de pavo cocida, cuyo calibre es similar al del lomo Sajonia, Ahn y Maurer (1990) también observaron niveles de nitritos residuales del orden del 30% de los añadidos.

En los lotes V y VF el contenido de nitritos permaneció por debajo del límite de detección hasta que se llevó a cabo la cocción. Durante el proceso de cocción se produjo la transformación de los nitratos presentes en nitritos, por la acción del cultivo estértil añadido, alcanzándose valores de nitrito residual de 109 y 129 mg/kg en los lotes V y VF, respectivamente. Estos valores son muy superiores a los encontrados por otros autores (Sindelar y col., 2007b) que indicaron valores de nitritos residuales que oscilaban desde 27,7 hasta de 36,0

mg/kg, en la elaboración de jamón cocido con extractos vegetales, el mismo cultivo estándar y partiendo de cantidades iniciales de nitratos similares a las utilizadas en este estudio. Dado que *Staphylococcus carnosus* presenta elevada actividad nitrato reductasa y baja nitrito reductasa (Gøtterup y col., 2008), el hecho de que en el jamón cocido se produzca una mayor reducción del nitrito residual podría ser debido a que el tiempo que el lomo Sajonia permanece en el rango de temperaturas más adecuado para que el cultivo estándar desarrolle su actividad es más corto. Por ello, en nuestro estudio se obtuvieron niveles residuales de nitritos más altos.

Por último, entre lotes, el contenido de nitritos residuales fue superior ( $p < 0,05$ ) en los lomos del lote ECO hasta que se llevó a cabo la etapa de cocción, tras la cual, los lotes V y VF presentaron valores de nitritos más altos ( $p < 0,05$ ) que los del lote ECO. Estos resultados se deben a diferencias en las estrategias de elaboración del lote ECO y de los lotes V y VF.

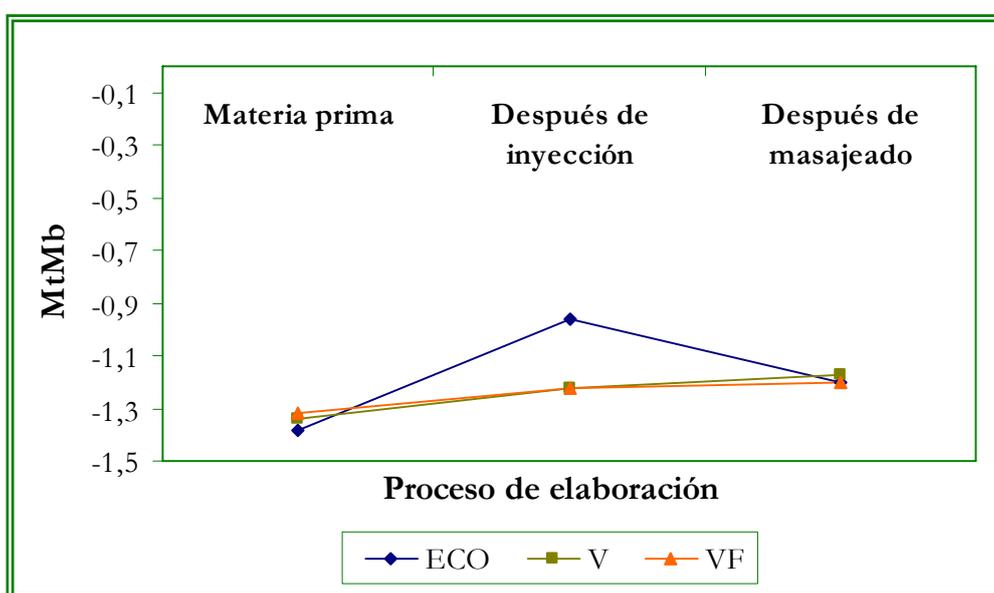
### **5.2.1.3. Estados de oxidación de la mioglobina**

La evolución de las diferentes estructuras de oxidación de la mioglobina (metamioglobina-MtMb, desoximioglobina-DMb y oximioglobina-MbO) en el lomo Sajonia de los diferentes lotes experimentales se muestra en las figuras 25-27. Para facilitar la interpretación de la evolución de dichos parámetros, en la elaboración de estas figuras los valores obtenidos para cada estado de oxidación se multiplicaron por -1 ya que cuando éstos disminuyen la proporción aumenta.

En general, en los tres lotes evaluados, la **MtMb** (figura 25) aumentó ( $p < 0,05$ ) durante el proceso de elaboración del lomo Sajonia en relación a la materia prima.

En el lote ECO, la MtMb aumentó durante la etapa de inyección, posiblemente debido a que la incorporación en la carne de salmueras integradas por compuestos oxidantes como los nitritos, favoreció la transformación de DMb en MtMb (Pearson y Dutson, 1994; Mancini y Hunt, 2005). Durante la inyección, el nitrito incorporado actúa como un oxidante muy reactivo y se

reduce rápidamente a NO. De forma paralela se produce la oxidación del átomo de hierro del grupo hemo de la molécula de DMb del estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) al férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) dando lugar a la formación de MtMb. Durante el masajeado, sin embargo, el porcentaje en MtMb disminuyó ( $p < 0,05$ ) ya que en esta etapa, el NO reacciona con la MtMb y la DMb para formar nitrosilmioglobina (Cassens y col., 1979; Adamsen y col., 2006; Sebranek y Bacus, 2007).



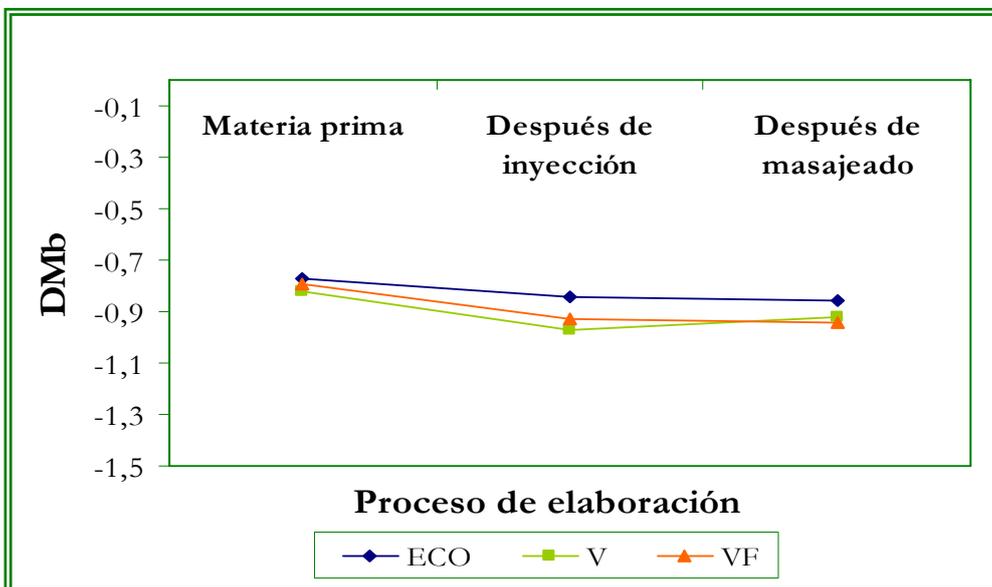
**Figura 25.** Evolución del contenido de metamioglobina (MtMb) durante el proceso de elaboración de los lotes experimentales de lomo Sajonia.

En los lotes V y VF, el incremento de la MtMb durante la etapa de inyección fue pequeño debido probablemente a la ausencia de nitritos. Sin embargo, es conocido que las reacciones de los pigmentos hemo de la carne constituyen un ciclo dinámico en el que, en presencia de oxígeno, los tres pigmentos (DMb, MtMb, y MbO) están interconvirtiéndose (Fox, 1966). En este ciclo, el oxígeno está asociándose y desagregándose de estos pigmentos continuamente, siendo estas reacciones aceleradas por diferentes condiciones de pH, temperatura, presión parcial de oxígeno, etc. (Faustman, 1990). Cuando

se alcanza una presión de oxígeno baja, se produce una oxidación lenta de los pigmentos hacia la MtMb (Fox, 1966; Faustman, 1990). Esta situación podría haberse dado durante el masajeado de los lomos, lo que explicaría el pequeño incremento de la MtMb durante la realización de esta etapa en los lomos elaborados con extractos vegetales.

Entre lotes, se encontraron diferencias en el contenido en MtMb después de la inyección ( $p < 0,05$ ) entre el lote ECO y los lotes elaborados con vegetales. El lote ECO mostró valores más altos de MtMb debido a la presencia de nitritos en la salmuera, como se ha indicado anteriormente.

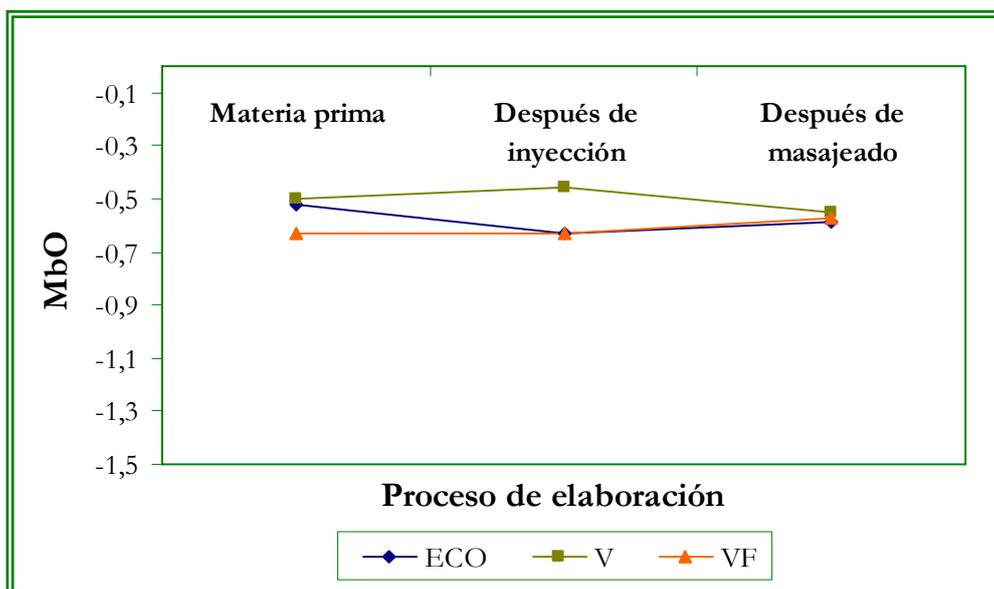
Los resultados obtenidos para **DMb** se muestran en la figura 26. En general, la DMb disminuyó ( $p < 0,05$ ) durante el proceso de elaboración del lomo Sajonia en todos los lotes. Este hecho pudo deberse a que, como se ha mencionado, durante las etapas de inyección y de masajeado la DMb está implicada en diferentes reacciones que implican su oxidación a MtMb o su conversión a nitrosilmioglobina.



**Figura 26.** Evolución del contenido de desoximioglobina (DMb) durante el proceso de elaboración de los tres lotes experimentales de lomo Sajonia.

Entre lotes se encontraron diferencias en la DMb después de la inyección y después del masajeado ( $p < 0,05$ ). El lote ECO presentó menor DMb debido probablemente a que se la inclusión de nitritos en la elaboración de este lote dio lugar a una mayor transformación de DMb a MtMb.

Respecto a la **MbO** (figura 27), su evolución fue distinta en las diferentes etapas del proceso de elaboración del lomo Sajonia.



**Figura 27.** Evolución del contenido de oximioglobina (MbO) durante el proceso de elaboración de los tres lotes experimentales de lomo Sajonia.

En el lote ECO este parámetro disminuyó después de la inyección ( $p < 0,05$ ) y permaneció estable durante el masajeado ( $p > 0,05$ ). En la materia prima, antes de la inyección, la formación de MbO se ve favorecida por el oxígeno de la atmósfera, sin embargo, durante la inyección la presencia de compuestos oxidantes favorece la transformación de la MbO a MtMb. Durante el masajeado, las condiciones de vacío utilizadas podrían haber favorecido la transformación de la MbO a DMb. Sin embargo, en nuestro estudio este hecho no se pudo observar debido probablemente a la menor proporción de MbO en comparación con la MtMb y la DMb.

En los lotes V y VF, la MbO permaneció constante en ambas etapas de elaboración ( $p>0,05$ ) posiblemente debido a que en estos lotes la MbO transformada en MtMb debió ser pequeña.

Entre lotes se encontraron diferencias ( $p<0,05$ ) en la MbO en la materia prima.

Después de la inyección, la MbO fue menor en el lote ECO en comparación con el lote V, debido a que la presencia de nitritos favoreció su oxidación a MtMb. Estas diferencias no se detectaron en el lote VF debido probablemente a que la MbO en la materia prima de este lote fue menor.

Finalmente, indicar que Lindahl y col. (2006) encontraron en lomo de cerdo valores de MtMb, DMb y MbO similares a los de este estudio.

## 5.2.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PRODUCTO FINAL

### 5.2.2.1. Características tecnológicas

Los resultados obtenidos para los parámetros tecnológicos evaluados en los lotes experimentales de lomo Sajonia se exponen en la tabla 15. Puede observarse que en el **rendimiento** y en las **pérdidas por cocción** se detectaron diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre los lotes elaborados.

**Tabla 15.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) para los parámetros tecnológicos evaluados en los tres lotes experimentales de lomo Sajonia.

	ECO	V	VF
Pérdidas por cocción (%)	<sup>B</sup> 18,31 $\pm$ 2,25	<sup>B</sup> 16,32 $\pm$ 2,13	<sup>A</sup> 9,44 $\pm$ 1,08
Rendimiento (%)	<sup>A</sup> 99,90 $\pm$ 2,72	<sup>A</sup> 96,21 $\pm$ 5,11	<sup>B</sup> 107,56 $\pm$ 4,04

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ).

El lote VF fue el que presentó menores pérdidas por cocción y mayor rendimiento ( $p<0,05$ ). Este efecto pudo deberse a la inclusión de fosfatos en su formulación. Los fosfatos provocan un aumento de la fuerza iónica, un aumento del pH de la carne desplazándolo del punto isoeléctrico de las

proteínas y un secuestro de cationes  $\text{Ca}^{2+}$ . Estas modificaciones dan lugar a un aumento de las cargas negativas en las proteínas, lo que favorece el desdoblamiento de la matriz proteica y, por tanto, la capacidad para unir y retener más agua (Medynski y col., 2000).

### 5.2.2.2. Composición centesimal

Los porcentajes de humedad, de proteína, de grasa y de cenizas obtenidos en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia se muestran en la tabla 16.

**Tabla 16.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la composición centesimal de los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia.

	ECO	V	VF	Comercial
<b>Humedad (%)</b>	72,14 $\pm$ 1,02	72,02 $\pm$ 0,12	74,99 $\pm$ 0,47	71,23 $\pm$ 4,69
<b>Proteína (%)</b>	<sup>C</sup> 22,19 $\pm$ 0,74	<sup>B</sup> 20,14 $\pm$ 0,41	<sup>A</sup> 17,66 $\pm$ 0,64	<sup>BC</sup> 21,85 $\pm$ 3,02
<b>Grasa (%)</b>	2,87 $\pm$ 1,16	3,24 $\pm$ 0,41	1,65 $\pm$ 0,62	1,71 $\pm$ 1,02
<b>Cenizas (%)</b>	<sup>A</sup> 2,31 $\pm$ 0,52	<sup>AB</sup> 2,88 $\pm$ 0,12	<sup>C</sup> 3,70 $\pm$ 0,06	<sup>BC</sup> 3,31 $\pm$ 0,39

<sup>A-C</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Puede observarse que no se encontraron diferencias en el porcentaje de **humedad** ( $p > 0,05$ ) entre lotes. En principio, se podría esperar que los lotes elaborados con fosfatos añadidos presentaran mayor porcentaje de humedad; sin embargo, debido a la pequeña cantidad de fosfatos añadidos en la elaboración del lote VF y a diferencias en factores como las características de la materia prima utilizada o diferencias en el proceso de elaboración no se detectaron diferencias entre lotes. El lote VF presentó el menor contenido en **proteínas** ( $p < 0,05$ ). Según Dimitrakopoulou (2005), el contenido en proteína y en grasa es inversamente proporcional al contenido en humedad del producto. Sin embargo, aunque también este lote presentó valores más bajos de **grasa**, las diferencias en este parámetro no fueron significativas ( $p > 0,05$ ). Resultados similares a los encontrados en nuestro estudio fueron aportados por Hayes y col. (2006) quienes observaron que la inclusión de 3.000 mg/kg de fosfatos en

la elaboración de un preparado de carne de lomo de cerdo, implicó una disminución del 3% en el contenido de proteínas, pero no implicó modificaciones en el contenido de grasa.

Finalmente, se encontraron diferencias en el contenido de **cenizas** ( $p < 0,05$ ) entre los lotes evaluados siendo el lote VF el que presentó mayor valor que el de los otros dos lotes experimentales. El hecho de haber utilizado fosfatos en la elaboración de este lote podría explicar los resultados obtenidos en el porcentaje de cenizas. En este sentido, Fernández-Martín y col. (2002) observaron un aumento en el contenido de cenizas en emulsiones cárnicas preparadas con carne de cerdo cuando añadían fosfatos de sodio en su elaboración.

### 5.2.2.3. Contenido en aditivos

Los resultados obtenidos en el contenido de NaCl, nitratos, nitritos, fosfatos y de salmuera se presentan en la tabla 17.

**Tabla 17.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en el contenido de aditivos en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia.

	ECO	V	VF	Comercial
NaCl (%)	4,04 $\pm$ 1,09	5,07 $\pm$ 0,31	5,71 $\pm$ 0,32	4,55 $\pm$ 1,08
Nitratos (mg/kg)	<20	<20	<20	<20
Nitritos (mg/kg)	<sup>A</sup> 39,50 $\pm$ 2,89	<sup>B</sup> 109,20 $\pm$ 24,89	<sup>B</sup> 129,06 $\pm$ 5,96	<sup>B</sup> 90,33 $\pm$ 35,62
Fosfatos (mg/kg)	<sup>AB</sup> 4504,66 $\pm$ 489,39	<sup>A</sup> 4174,82 $\pm$ 112,01	<sup>B</sup> 4963,23 $\pm$ 76,12	<sup>C</sup> 6573,86 $\pm$ 1008,91
Cantidad de salmuera (%)	<sup>A</sup> 5,28 $\pm$ 1,3	<sup>A</sup> 6,57 $\pm$ 0,4	<sup>B</sup> 8,22 $\pm$ 0,4	<sup>A</sup> 6,00 $\pm$ 1,1

<sup>A-C</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Como puede observarse, no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) en el contenido de **NaCl** entre los lotes evaluados. Este resultado es lógico si se tiene en cuenta que todos los lotes experimentales fueron elaborados con la misma cantidad de NaCl y el mismo porcentaje de inyección. Además, los

valores obtenidos fueron los habituales en este tipo de producto como se pone de manifiesto en el hecho de no encontrar diferencias entre los lotes experimentales de lomo Sajonia y el lote comercial.

Respecto al contenido en **nitratos** residuales, todos los lotes de lomo Sajonia presentaron valores por debajo del límite de detección. En el caso de los lotes ECO y comercial era lo esperado ya que fueron elaborados sin la adición de este aditivo de acuerdo con la legislación vigente (DOUE, 2008a; DOUE, 2011), que no permite la adición de nitratos en la elaboración de productos cárnicos cocidos. En el caso de los lotes V y VF a pesar de que se utilizó un extracto vegetal que contenía nitratos, éstos no se detectaron en el producto final debido a que se transformaron en nitritos por la acción del cultivo estárter utilizado.

En cuanto al contenido en **nitritos** residuales, el lomo Sajonia del lote ECO presentó valores más bajos que los lotes experimentales elaborados con extractos vegetales y el lote comercial ( $p < 0,05$ ). Este resultado se debe a que en la elaboración del lote ECO se utilizaron 80 mg/kg de este aditivo, que es la cantidad máxima permitida según la legislación que regula la producción ecológica (DOUE, 2008b). Sin embargo, en la legislación vigente para la elaboración del producto convencional (DOUE, 2008a; DOUE, 2011) se indica que la cantidad máxima de nitritos que se puede añadir en la elaboración de productos cárnicos cocidos es de 150 mg/kg. Por ello, es de suponer que el lote comercial fue elaborado con una cantidad de nitritos cercana a este límite, lo que implicó la obtención de mayores valores residuales en el lote comercial que en el lote ECO. Rubio y col. (2009) indicaron valores de nitrato residual en diferentes tipos de lomo Sajonia comercial que oscilaban entre 39-112 mg/kg.

Los valores de nitritos residuales en los lotes de lomo Sajonia V y VF fueron similares a los del lote comercial ( $p > 0,05$ ) por lo que se podrían considerar como habituales en este producto. Sin embargo, teniendo en cuenta la legislación que regula la producción ecológica (DOUE, 2008b) en la que se establece un contenido máximo de nitritos residuales de 50 mg/kg, el lomo Sajonia de los lotes V y VF no podría ser considerado como un producto

ecológico. Estos resultados indican la necesidad de optimizar el proceso de elaboración del lomo Sajonia con extractos vegetales para reducir los niveles residuales de nitritos.

En cuanto al contenido en **fosfatos**, el lote comercial presentó los valores más altos y el lote V (lomos en los que no se incluyeron fosfatos en la formulación) los más bajos. La cantidad máxima de fosfatos que puede ser añadida en la elaboración de productos cárnicos es de 5.000 mg/kg (DOUE, 2008a). Por ello, los lomos comerciales podrían estar elaborados con una mayor cantidad de fosfatos que la añadida en la elaboración del lote VF (1.000 mg/kg), de ahí las diferencias entre ellos. En relación a los lotes elaborados sin fosfatos añadidos, indicar que presentaron valores similares a los encontrados en la carne fresca de forma natural (entre 4.000 y 5.000 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) según Flores (2001).

Finalmente, respecto a la **cantidad de salmuera** presente en el producto final, el lote VF presentó un mayor porcentaje ( $p < 0,05$ ) que el resto de lotes evaluados. Estas diferencias podrían ser debidas a que estos lomos fueron elaborados con fosfatos añadidos y corroborarían los resultados obtenidos para el rendimiento y las pérdidas por cocción. Sin embargo, el lote comercial que también incluía fosfatos en su elaboración presentó valores similares a los lotes elaborados sin fosfatos. En este lote, diferencias en el proceso de elaboración (porcentaje de inyección, diferente masajeado, ciclo de cocción, etc.) pudieron enmascarar el efecto de los fosfatos.

#### **5.2.2.4. Características físico-químicas**

Los resultados obtenidos para el pH, la  $a_w$  y el AR se muestran en la tabla 18. En el **pH** no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre los lotes experimentales, sin embargo, sí se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) entre éstos y el lote comercial. Estas diferencias pudieron ser debidas al mayor contenido en fosfatos (tabla 17) que presentó el lote comercial. Como se indicó anteriormente, los fosfatos incrementan el pH de la carne, siendo este aumento dependiente del tipo y de la cantidad de fosfatos añadida (Palacios, 2003).

**Tabla 18.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación del pH, la  $a_w$  y el AR en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia.

	ECO	V	VF	Comercial
pH	<sup>A</sup> 5,89 $\pm$ 0,07	<sup>A</sup> 5,82 $\pm$ 0,06	<sup>A</sup> 5,88 $\pm$ 0,02	<sup>B</sup> 6,18 $\pm$ 0,06
$a_w$	<sup>B</sup> 0,981 $\pm$ 0,002	<sup>A</sup> 0,976 $\pm$ 0,000	<sup>A</sup> 0,971 $\pm$ 0,000	<sup>A</sup> 0,974 $\pm$ 0,001
AR (%)	90,07 $\pm$ 0,38	90,22 $\pm$ 0,41	90,24 $\pm$ 0,39	NA

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). NA: no analizado.

En la  $a_w$  se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) entre el lote ECO y los otros tres lotes evaluados. El lomo Sajonia del lote ECO presentó mayor valor de  $a_w$  posiblemente debido a que éste fue elaborado con una salmuera con un menor contenido en aditivos. De acuerdo con Martínez-Navarrete y col. (1998) la  $a_w$  de los alimentos puede ser disminuida por diferentes tipos de interacciones, como pueden ser las interacciones del agua con los solutos disueltos, de modo que a mayor cantidad de solutos disueltos, mayor interacción y menor  $a_w$ . En nuestro estudio, en la salmuera utilizada en la elaboración del lomo Sajonia del lote ECO se incluyó una menor cantidad de aditivos que en la de los lotes V y VF y, posiblemente, que en la del lote comercial lo que explicaría las diferencias encontradas en la  $a_w$  entre los lotes estudiados.

Respecto al porcentaje de AR no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre los tres lotes experimentales. Puolanne y col. (2001) observaron en salchichas cocidas elaboradas con 2.500 mg/kg de fosfatos un aumento en la capacidad de retener agua que atribuyeron al incremento de pH que tuvo lugar en dichos productos cárnicos al utilizar este aditivo. En nuestro estudio, la no existencia de diferencias en el pH podría indicar que, en el lote VF las modificaciones en la fuerza iónica derivadas de la inclusión de 1.000 mg/kg de fosfatos no provocaron cambios suficientes en la estructura proteica para obtener diferencias significativas en el AR.

### 5.2.2.5. Evaluación instrumental del color

En la tabla 19 se muestran los resultados obtenidos a partir de la medida instrumental del color en los lotes evaluados en este estudio.

**Tabla 19.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación instrumental del color en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia.

	ECO	V	VF	Comercial
L*	B74,77 $\pm$ 2,55	AB70,51 $\pm$ 2,35	A69,35 $\pm$ 1,38	AB72,59 $\pm$ 0,23
a*	AB5,07 $\pm$ 1,13	B5,93 $\pm$ 0,54	AB4,34 $\pm$ 0,54	A3,61 $\pm$ 0,39
b*	A8,96 $\pm$ 0,55	B10,56 $\pm$ 0,30	A8,68 $\pm$ 0,60	AB9,29 $\pm$ 0,05
C*	A10,33 $\pm$ 0,98	B12,13 $\pm$ 0,52	A9,73 $\pm$ 0,72	A9,97 $\pm$ 0,07
H*	60,84 $\pm$ 4,17	60,71 $\pm$ 2,99	63,39 $\pm$ 4,39	66,96 $\pm$ 3,51
Nitrosilhemocromo	AB1,54 $\pm$ 0,12	B1,64 $\pm$ 0,07	AB1,48 $\pm$ 0,10	A1,43 $\pm$ 0,05

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

En los parámetros evaluados, excepto para H\*, se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

La sustitución de los nitritos por extractos vegetales en la elaboración de lomo Sajonia ecológico implicó la obtención de valores más altos de b\* y C\* en el lote V en comparación con el ECO. El efecto antioxidante que ejercen los nitritos durante el proceso de elaboración de los productos cárnicos, concretamente en la etapa de cocción, pudo ser el responsable del menor b\* observado en el lote ECO. Por otro lado, diversos autores también han encontrado modificaciones en los parámetros de color al incluir extractos naturales en la formulación de productos cárnicos cocidos. Así, Deda y col. (2007) observaron valores más altos de a\*, b\* y C\* en salchichas elaboradas con pasta de tomate. Estos autores lo atribuyeron a la presencia de licopeno en la pasta. Fernández-Gines y col. (2004) encontraron que las salchichas elaboradas con albedo de limón presentaban valores más bajos de a\* debido

posiblemente, al alto contenido de componentes blancos del albedo. Viuda-Martos y col. (2010b) señalaron que la adición de fibra de naranja y aceite esencial de orégano en la elaboración de salchichas, aumentó los valores de  $L^*$  y  $b^*$  pero no modificó el valor de  $a^*$ . Estos autores atribuyeron estas modificaciones a los carotenos presentes en la fibra de naranja. En nuestro estudio, al aumento de  $b^*$  también pudo contribuir la presencia de pigmentos en los extractos vegetales.

En el lote elaborado con extractos vegetales y fosfatos (VF) los valores de  $b^*$  fueron similares a los del lote ECO y menores que los del lote V. En este sentido, Sánchez-Zapata y col. (2011) observaron una disminución de  $L^*$  y  $b^*$  en salchichas cocidas cuando añadieron pasta de dátil con alto contenido de compuestos con capacidad antioxidante.

La incorporación de fosfatos en la elaboración del lomo Sajonia implicó una disminución de  $L^*$ , que pudo ser debida a que la utilización de fosfatos da lugar a una disminución del agua en la superficie, lo que resulta en una reducción de la reflexión de la luz y, consecuentemente, en un menor valor de  $L^*$  (Fernández-López y col., 2004).

Por último, los valores obtenidos para  $a^*$  y para el nitrosilhemocromo fueron similares ( $p > 0,05$ ) entre los lotes experimentales, lo que podría indicar que la utilización de extractos vegetales como alternativa a la adición de nitritos es viable desde el punto de vista del desarrollo del color. Las pequeñas diferencias encontradas en estos parámetros en comparación con el lote comercial podrían deberse a la utilización de diferente materia prima, con diferente contenido en mioglobina (Benjamin y Collins, 2003).

Finalmente, indicar que, en general, los valores obtenidos para los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en todos los lotes evaluados fueron similares a los encontrados por Díaz y col. (2008) en lomo cocido.

#### **5.2.2.6. Evaluación instrumental de la textura (TPA)**

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos para los parámetros de textura medidos de forma instrumental en los lotes experimentales.

**Tabla 20.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en el análisis del perfil de textura de los lotes experimentales de lomo Sajonia.

	ECO	V	VF
<b>Dureza (N)</b>	<sup>AB</sup> 18,44 $\pm$ 2,82	<sup>A</sup> 15,38 $\pm$ 0,77	<sup>B</sup> 22,48 $\pm$ 0,96
<b>Elasticidad</b>	0,67 $\pm$ 0,06	0,59 $\pm$ 0,11	0,67 $\pm$ 0,06
<b>Cohesividad</b>	<sup>B</sup> 0,56 $\pm$ 0,04	<sup>A</sup> 0,46 $\pm$ 0,04	<sup>AB</sup> 0,50 $\pm$ 0,05
<b>Gomosidad (N)</b>	10,38 $\pm$ 1,64	7,92 $\pm$ 1,09	11,03 $\pm$ 1,03
<b>Masticabilidad (N)</b>	<sup>AB</sup> 6,13 $\pm$ 1,04	<sup>A</sup> 5,04 $\pm$ 0,66	<sup>B</sup> 7,44 $\pm$ 0,55

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

La sustitución de los nitritos por extractos vegetales en la elaboración de lomo Sajonia no implicó diferencias en la dureza ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, la inclusión de fosfatos supuso un aumento de la dureza y de la masticabilidad ( $p < 0,05$ ) en los lotes elaborados con extractos vegetales. En el resto de parámetros sólo se observaron diferencias ( $p < 0,05$ ) en la cohesividad siendo el lote V menos cohesivo que el lote ECO.

Los resultados encontrados en la literatura científica en relación al efecto de la inclusión de vegetales en la textura de los productos cárnicos son muy diferentes debido a la diversidad de compuestos naturales utilizados. Autores como Fernández-Ginés y col. (2003), García y col. (2007) y Viuda-Martos y col. (2010b) encontraron un aumento de la dureza al elaborar salchichas cocidas con diferentes tipos de extractos (de melocotón, de manzana, de naranja) y diferentes concentraciones de los mismos. Este efecto en la dureza también fue observado en embutidos por Calvo y col. (2008) y en hamburguesas de ternera por García y col. (2009) cuando adicionaron piel seca de tomate a estos productos cárnicos. En todos los casos, los autores indicaron que el alto contenido en fibra alimentaria de estos extractos fue el responsable del incremento de la dureza. En los productos cocidos, la incorporación de este tipo de partículas en la matriz proteica podría fortalecer los enlaces formados durante la cocción lo que implica un aumento de la dureza (Viuda-

Martos y col., 2010b). Por el contrario, Sánchez-Zapata y col. (2010) observaron una disminución de la dureza y de la cohesividad cuando elaboraron salchichas cocidas con diferentes cantidades de pasta de dátil con un contenido bajo en fibra alimentaria total (7g/100g).

En nuestro estudio no se detectó ningún efecto de la inclusión de extractos vegetales en la dureza debido probablemente al bajo contenido en fibra del extracto utilizado (1,1 g/100g). Sí se observó una menor cohesividad, aunque sólo en el lote V, debido a que la inclusión de fosfatos en el lote VF dio lugar a valores similares a los obtenidos en el lote ECO en este parámetro.

En relación a la mayor dureza observada en los lotes elaborados con vegetales al incluir fosfatos, indicar que diversos autores han descrito un efecto similar. Somboonpanyakul y col. (2007) observaron un aumento en la dureza cuando se incluyeron fosfatos en la elaboración de un preparado de carne de pollo. También Keenan y col. (2010) indicaron que la utilización de un 0,3% de fosfatos frente a un 0,15%, en la elaboración de un preparado de carne de ternera a partir del músculo *Pectoralis profundus* implicó un aumento de la dureza. La adición de fosfatos en la elaboración de productos cárnicos cocidos además de aumentar la CRA favorece la solubilización de las proteínas lo que da lugar a que durante el tratamiento térmico se produzca un mayor enlazamiento (Somboonpanyakul y col., 2007).

#### 5.2.2.7. Características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

Los resultados obtenidos en la prueba de aceptación realizada con un panel de catadores entrenados se muestran en la tabla 21. En la figura 28 se puede observar el aspecto visual del lomo Sajonia de los diferentes lotes experimentales.

No se encontraron diferencias entre lotes para el **color**, el **olor**, la **jugosidad** y la **valoración global** ( $p > 0,05$ ). Estos parámetros fueron puntuados desde buenos a excelentes tanto en el lomo Sajonia del lote comercial como en los tres lotes experimentales.

## Resultados y Discusión

**Tabla 21.** Puntuaciones obtenidas (media  $\pm$  desviación estándar) en la prueba de aceptación en los lotes experimentales y en el lote comercial de lomo Sajonia.

	ECO	V	VF	Comercial
Color	4,7 $\pm$ 0,4	4,8 $\pm$ 0,4	4,5 $\pm$ 0,5	4,7 $\pm$ 0,1
Olor	4,9 $\pm$ 0,2	4,5 $\pm$ 0,5	4,5 $\pm$ 0,5	4,1 $\pm$ 0,4
Flavor	<sup>B</sup> 4,9 $\pm$ 0,3	<sup>AB</sup> 4,8 $\pm$ 0,4	<sup>B</sup> 4,8 $\pm$ 0,5	<sup>A</sup> 4,2 $\pm$ 0,3
Pastosidad	<sup>B</sup> 4,5 $\pm$ 0,5	<sup>B</sup> 4,7 $\pm$ 0,5	<sup>B</sup> 4,6 $\pm$ 0,5	<sup>A</sup> 3,8 $\pm$ 0,3
Jugosidad	4,3 $\pm$ 0,5	4,9 $\pm$ 0,3	4,5 $\pm$ 0,7	3,8 $\pm$ 0,8
Valoración global	4,7 $\pm$ 0,2	4,8 $\pm$ 0,3	4,6 $\pm$ 0,4	4,6 $\pm$ 0,3

Rango de valores en una escala de 5 puntos (1=inaceptable, 2=malo, 3=aceptable, 4=bueno y 5=excelente).

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Para el **flavor** y la **pastosidad**, el lote comercial obtuvo puntuaciones más bajas ( $p < 0,05$ ) que los lotes experimentales, debido probablemente a que éstos permanecieron envasados hasta su adquisición. No obstante, en este lote tanto el flavor como la pastosidad fueron evaluados como buenos.

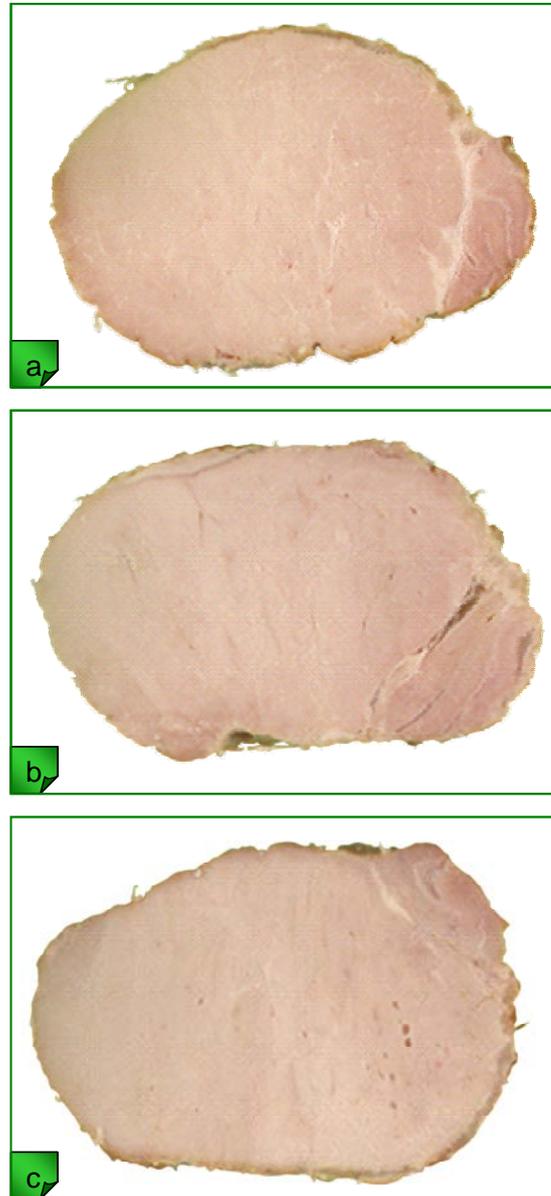
Estos resultados difieren con los encontrados por Sindelar y col. (2007a) que elaboraron salchichas con extractos vegetales y obtuvieron puntuaciones más altas en todos los atributos sensoriales en las salchichas elaboradas de forma convencional (con nitritos añadidos) que en las elaboradas con extractos vegetales. Por otro lado, Calvo y col. (2010) indicaron que la adición de piel de tomate en polvo en la elaboración de productos cárnicos cocidos dio lugar a un producto final que presentaba una buena aceptabilidad general y que no mostraba diferencias de olor, textura, jugosidad y sabor en relación a los comercializados habitualmente. Estos autores sí encontraron diferencias en el color, sin embargo, éstas no afectaron de forma importante a la aceptación del producto.

### **5.2.3. RESUMEN**

En base a los resultados obtenidos durante el proceso de elaboración y en el producto final se puede concluir que el uso de extractos vegetales como alternativa a la adición de nitritos en la elaboración de lomo Sajonia no modificó las características tecnológicas de este producto. En general, el uso de esta estrategia de elaboración dio lugar a un producto cárnico con características similares a las del producto comercial y excepto en el contenido en nitritos residuales, a las del elaborado según la legislación que regula la producción ecológica.

La adición de fosfatos junto con los extractos vegetales permitió obtener un producto con mayor rendimiento y menores pérdidas por cocción y sin embargo, estas diferencias no implicaron que el lomo Sajonia así elaborado presentara características físico-químicas y organolépticas diferentes del elaborado sin fosfatos.

Por último, indicar que el producto obtenido con el uso de extractos vegetales presentó un contenido en nitritos residuales elevado y que aunque cumplía los requisitos establecidos en la legislación actual sobre este aditivo, los valores obtenidos estaban muy por encima de la cantidad máxima residual (50 mg/kg) permitida en el Reglamento que regula la elaboración de productos ecológicos. Este resultado hace que en la elaboración de lomo Sajonia sea necesario optimizar el uso de extractos vegetales para obtener bajos niveles de nitritos en el producto final.



**Figura 28:** Aspecto visual del lomo Sajonia elaborado con: a) 80 mg/kg de nitritos y sin fosfatos (Lote ECO), b) 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria y sin fosfatos (Lote V) y c) 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria y con 1.000 mg/kg de fosfatos (Lote VF).

### 5.3. ESTUDIO 3: OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LOMO SAJONIA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN EXTRACTO VEGETAL

Con objeto de reducir los niveles de nitrito residual hasta niveles que cumplan la legislación que regula la producción ecológica se plantearon dos estrategias para la elaboración de lomo Sajonia con un extracto vegetal:

- **Estrategia 1: reducción de la concentración del extracto vegetal utilizado en la elaboración de lomo Sajonia.** Para desarrollar esta estrategia se elaboraron 3 lotes experimentales:

**Lote V-1,32:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria.

**Lote V-0,90:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,90% de extracto vegetal de apio y zanahoria.

**Lote V-0,48:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,48% de extracto vegetal de apio y zanahoria.

- **Estrategia 2: utilización de diferentes tipos y concentraciones de antioxidantes naturales.** Para el desarrollo de esta estrategia se elaboraron diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia con extracto vegetal y con diferentes cantidades de 2 tipos de antioxidantes:

**Lote VVB-0,60:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,60% de un extracto de vino blanco.

**Lote VVB-1,80:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,80% de un extracto de vino blanco.

**Lote VRSO-0,60:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 0,60% de un extracto de romero, salvia y orégano.

**Lote VRSO-1,80:** lomo Sajonia elaborado con una salmuera que contenía un 1,80% de un extracto de romero, salvia y orégano.

En los diferentes lotes experimentales se evaluaron las pérdidas por cocción, el rendimiento, el contenido en nitratos y nitritos y se realizó una evaluación instrumental del color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) calculándose  $C^*$ ,  $H^*$  y el contenido en nitrosilhemocromo. Finalmente, se realizaron pruebas discriminantes (test triangular) y pruebas sensoriales afectivas (prueba de preferencia) con un panel de consumidores. En los lotes de la Estrategia 2 se determinó además el pH de la materia prima, de la salmuera y del producto final.

### 5.3.1. RESULTADOS DE LA ESTRATEGIA 1

#### 5.3.1.1. Características tecnológicas

Los resultados obtenidos en los parámetros tecnológicos del lomo Sajonia elaborado con diferentes cantidades de extracto vegetal se muestran en la tabla 22.

**Tabla 22.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en los parámetros tecnológicos evaluados en el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal.

	V- 1,32	V- 0,90	V- 0,48
Pérdidas por cocción (%)	19,44 $\pm$ 2,31	16,48 $\pm$ 1,08	17,56 $\pm$ 1,71
Rendimiento (%)	95,03 $\pm$ 3,39	98,01 $\pm$ 2,97	97,93 $\pm$ 4,12

Puede observarse que la adición de diferente porcentaje de extracto vegetal en la salmuera no tuvo efecto ni sobre las **pérdidas por cocción** ni sobre el **rendimiento** del producto final ( $p > 0,05$ ). Estos resultados eran de esperar si se tiene en cuenta que el contenido en fibra del extracto vegetal utilizado era muy pequeño (1,1g/100g). Sindelar y col. (2007b) encontraron

resultados similares cuando elaboraron jamón cocido con diferentes cantidades (1,75 ó 1,00 %) de un extracto de apio.

### 5.3.1.2. Características físico-químicas

Los valores de nitratos y nitritos residuales obtenidos en el lomo Sajonia elaborado con diferentes porcentajes de extracto vegetal se presentan en la tabla 23.

**Tabla 23.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación del contenido en nitratos y nitritos residuales en el lomo Sajonia elaborado con diferentes concentraciones de extracto vegetal.

	V- 1,32	V- 0,90	V- 0,48
<b>Nitratos (mg/kg)</b>	<20	<20	<20
<b>Nitritos (mg/kg)</b>	<sup>B</sup> 137,05 $\pm$ 44,85	<sup>AB</sup> 90,24 $\pm$ 20,10	<sup>A</sup> 68,53 $\pm$ 19,91

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

En los tres lotes evaluados, se obtuvieron valores de **nitratos** residuales por debajo del límite de detección. Estos niveles tan bajos son indicativos de que, en todos los casos, la transformación de nitrato a nitrito por la acción del cultivo estándar se desarrolló de forma adecuada.

En cuanto al contenido en **nitritos** residuales se observó que al reducir la cantidad de extracto vegetal en la elaboración del lomo Sajonia, la concentración de nitritos disminuía, aunque sólo fue significativa ( $p < 0,05$ ) entre los lotes elaborados con un 1,32% y un 0,48%. Sindelar y col. (2007b) también observaron una mayor cantidad de nitritos residuales en jamón cocido elaborado con un 1,75% de un extracto de apio que en el elaborado con un 1,00%. Estos autores (Sindelar y col., 2007a) también observaron este efecto en salchichas cocidas elaboradas con un 0,40 o un 0,20% de extracto vegetal.

De los tres lotes elaborados, sólo el lote V-0,48 presentó valores próximos al límite establecido en la legislación que regula la producción ecológica (50 mg/kg).

### 5.3.1.3. Evaluación instrumental del color

Los resultados obtenidos en los diferentes parámetros de color evaluados se muestran en la tabla 24. En general, no se detectaron diferencias significativas entre lotes ( $p > 0,05$ ) ni en **L\***, **a\***, **b\***, **C\***, **H\*** ni en el contenido en **nitrosilhemocromo**.

**Tabla 24.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación instrumental del color en el lomo Sajonia elaborado con diferentes concentraciones de extracto vegetal.

	V- 1,32	V- 0,90	V- 0,48
<b>L*</b>	75,31 $\pm$ 4,57	73,82 $\pm$ 1,42	74,62 $\pm$ 1,35
<b>a*</b>	5,22 $\pm$ 1,31	5,30 $\pm$ 0,55	4,75 $\pm$ 0,66
<b>b*</b>	8,44 $\pm$ 0,42	8,45 $\pm$ 0,38	8,87 $\pm$ 0,30
<b>C*</b>	10,19 $\pm$ 0,89	10,86 $\pm$ 0,52	10,09 $\pm$ 0,75
<b>H*</b>	57,26 $\pm$ 4,90	60,66 $\pm$ 3,88	61,74 $\pm$ 4,18
<b>Nitrosilhemocromo</b>	1,61 $\pm$ 0,10	1,55 $\pm$ 0,05	1,49 $\pm$ 0,07

Sindelar y col. (2007a, b) tampoco encontraron diferencias en L\*, a\* y b\* en jamón y salchichas cocidos elaborados con diferentes porcentajes de un extracto vegetal de apio.

Viuda-Martos y col. (2010b) señalaron que la luminosidad de los alimentos está relacionada con el tipo y la concentración de los pigmentos presentes, el contenido en agua, la higroscopicidad del material disuelto en el agua de la matriz, el contenido de aire ocluido, el agua disponible en la superficie y el tipo y contenido de fibra. El hecho de que en nuestro estudio no se obtuvieran modificaciones en los parámetros de color podría indicar que la inclusión de diferentes cantidades del extracto vegetal usado no implicó modificación de los factores anteriores.

Por otro lado, si se tiene en cuenta que la formación de nitrosilhemocromo depende tanto de la cantidad de nitritos como de la

cantidad y del estado químico de la mioglobina, la no obtención de diferencias entre lotes en el nitrosilhemocromo indicaría que con la utilización de 0,48% de extracto vegetal se forma una cantidad de nitritos suficiente para el desarrollo de un color adecuado.

#### 5.3.1.4. Características sensoriales evaluadas con un panel de catadores (consumidores)

En las tablas 25 y 26 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas discriminatorias (pruebas triangulares) realizadas con objeto de determinar si los consumidores diferenciaban o no entre el lomo Sajonia elaborado con diferentes concentraciones de extracto vegetal. Estas pruebas se realizaron antes (tabla 25) y después (tabla 26) de calentar el lomo Sajonia. Las pruebas triangulares realizadas antes de calentar el lomo Sajonia se llevaron a cabo con las lonchas enteras y en ellas se evaluó el aspecto visual y la percepción olfativa de las mismas y no se incluyó la degustación en boca.

**Tabla 25.** Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal en las muestras antes de ser calentadas. Número de jueces n=40.

Muestras comparadas	Número de juicios correctos	Nivel de significación
V- 1,32% y V- 0,90%	20	*
V- 1,32% y V- 0,48%	26	***
V- 0,90% y V- 0,48%	17	ns

ns: no significativo; \*p<0,05; \*\*\*p<0,001.

En las muestras evaluadas antes de ser calentadas, los panelistas diferenciaron el lomo Sajonia elaborado con la concentración más alta (1,32%) y no distinguieron el lomo Sajonia elaborado con un 0,90% de extracto vegetal del elaborado con un 0,48%. Los atributos en los que los catadores basaron su decisión fueron la homogeneidad y la intensidad del color. Estos resultados difieren de los obtenidos en el análisis del color medido de forma instrumental, en los que no se encontraron diferencias entre lotes. Es preciso indicar que los

catadores realizaron el análisis en la globalidad de la loncha evaluando además de la intensidad del color su homogeneidad.

Por el contrario, cuando las pruebas triangulares se realizaron con las muestras una vez calentadas, los catadores no fueron capaces de diferenciar entre los diferentes lotes. Estos resultados ponen de manifiesto que durante el calentamiento de las muestras se pudieron producir reacciones que eliminaron las diferencias inicialmente detectadas.

**Tabla 26.** Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas entre el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal en las muestras calentadas. Número de jueces n=40.

Muestras comparadas	Número de juicios correctos	Nivel de significación
V- 1,32% y V- 0,90%	17	ns
V- 1,32% y V- 0,48%	19	ns
V- 0,90% y V- 0,48%	18	ns

ns: no significativo.

Como ya se ha comentado, cuando un producto es sometido a un tratamiento térmico, las reacciones responsables de la formación del color se aceleran. Las proteínas responsables del color se desnaturalizan y junto con el nitrito presente dan lugar a la formación del compuesto nitrosilhemocromo, que se transforma en otro más estable a una temperatura aproximada de 65°C (Durand, 2002c). La formación de nitrosilhemocromo a partir del nitrito residual presente en los tres lotes de lomo Sajonia durante el cocinado pudo ser la responsable de la homogeneidad del color que presentaron los mismos tras el cocinado y de que los catadores no pudieran establecer diferencias entre ellos.

En la tabla 27 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de preferencia realizadas con las muestras de lomo de Sajonia no calentadas. El aspecto visual de estas muestras se puede observar en la figura 29.

**Tabla 27.** Resultados obtenidos en las pruebas de preferencia realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferente concentración de extracto vegetal en las muestras antes de ser calentadas. Número de jueces n=40.

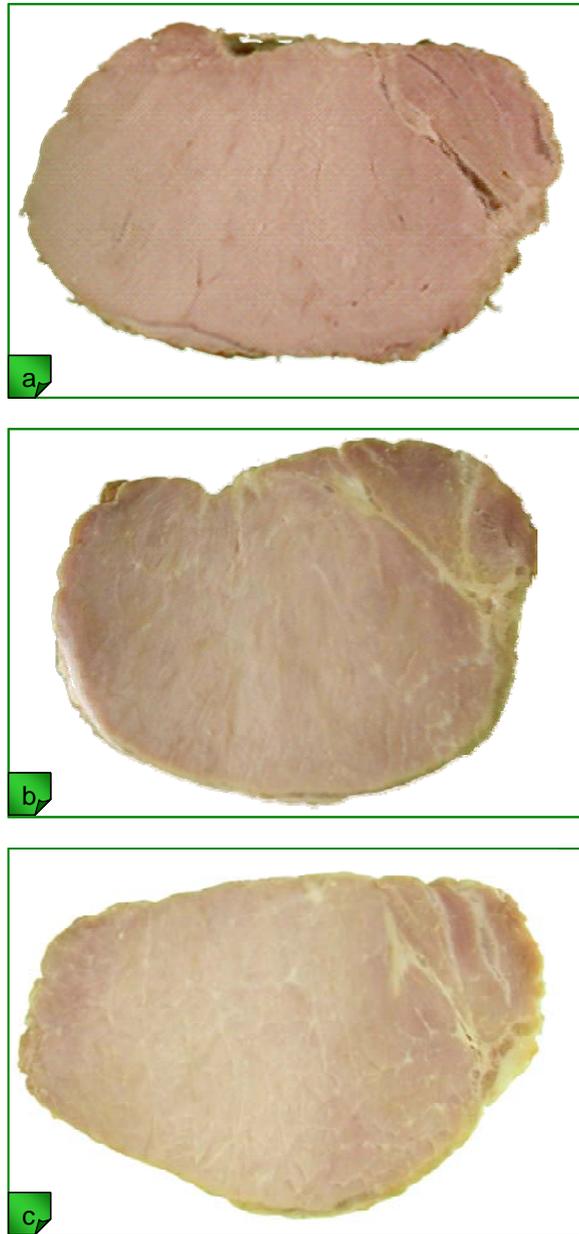
Muestras comparadas	Número de juicios coincidentes (V-1,32)	Nivel de significación
V- 1,32% y V- 0,90%	30	**
V- 1,32% y V- 0,48%	38	***

\*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001.

Los catadores mostraron preferencia por el lomo Sajonia elaborado con la concentración más alta del extracto vegetal (1,32%) debido a que presentaba un color rosado más homogéneo y atractivo. El 75% de los catadores lo prefirió frente al elaborado con un 0,90% de extracto vegetal y el 95% frente al elaborado con un 0,48% de extracto vegetal. En este sentido es preciso indicar que el color es uno de los atributos que más influencia tiene sobre la aceptación de un producto por parte del consumidor y, en definitiva, sobre su decisión de compra (Carpenter y col. 2001; Martínez y col., 2007).

### 5.3.1.5. Resumen

La elaboración de lomo Sajonia con diferentes concentraciones de extracto vegetal no implicó diferencias ni en los resultados obtenidos en los parámetros tecnológicos evaluados, ni en los obtenidos en la evaluación instrumental del color. Por el contrario, sí se detectaron diferencias en el contenido en nitritos y sólo el lote V-0,48 presentó valores próximos al establecido en la legislación que regula la producción ecológica. Sin embargo, en la evaluación sensorial, los catadores indicaron claramente su preferencia por el lote V-1,32 debido a que presentaba un color rosado más homogéneo y atractivo. Por ello, la reducción del nivel de extracto vegetal a utilizar en la elaboración de lomo Sajonia no se consideró una estrategia adecuada para disminuir los niveles de nitrito residual.



**Figura 29.** Aspecto visual del lomo Sajonia elaborado con: a) 1,32% de extracto vegetal de apio y zanahoria (Lote V-1,32) b) 0,90% de extracto vegetal de apio y zanahoria (Lote V-0,90) y c) 0,48% de extracto vegetal de apio y zanahoria (Lote V-0,48).

### 5.3.2. RESULTADOS ESTRATEGIA 2

#### 5.3.2.1. Características tecnológicas

Los resultados obtenidos en los parámetros tecnológicos del lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales se muestran en la tabla 28.

**Tabla 28.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en los parámetros tecnológicos del lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales.

	VVB-0,60	VVB-1,80	VRSO-0,60	VRSO-1,80
<b>Pérdidas por cocción (%)</b>	18,19 $\pm$ 0,01	21,12 $\pm$ 3,01	17,95 $\pm$ 1,60	18,33 $\pm$ 0,55
<b>Rendimiento (%)</b>	94,60 $\pm$ 1,66	91,59 $\pm$ 6,06	94,66 $\pm$ 2,38	96,76 $\pm$ 1,73

No se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) ni en las **pérdidas por cocción** y ni en el **rendimiento** del lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos o concentraciones de antioxidantes. Otros autores, tampoco obtuvieron modificaciones en el rendimiento al utilizar antioxidantes de origen natural en la elaboración de salchichas cocidas (Mercadante y col., 2010) o en otro tipo de productos cárnicos como empanadas de pollo cocidas (Naveena y col., 2008) o hamburguesas de carne de cerdo (Hayes y col., 2010).

#### 5.3.2.2. Características físico-químicas

En la tabla 29 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del pH de la materia prima, de la salmuera y del producto final de los diferentes lotes. En la materia prima, como era de esperar, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en el **pH**. Sin embargo, en las salmueras, aquella que contenía una mayor concentración de extracto de vino blanco (VVB-1,80) presentó el valor de pH más bajo ( $p < 0,05$ ), mientras que la elaborada con el menor porcentaje del extracto de romero, salvia y orégano (VRSO-0,60) el más alto ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 29.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la medida del pH de la materia prima, de la salmuera y del producto final cuando se utilizaron diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales en la elaboración de lomo Sajonia.

	VVB-0,60	VVB-1,80	VRSO-0,60	VRSO-1,80
<b>Materia prima</b>	5,68 $\pm$ 0,08	5,66 $\pm$ 0,12	5,71 $\pm$ 0,24	5,79 $\pm$ 0,17
<b>Salmuera</b>	<sup>B</sup> 5,88 $\pm$ 0,03	<sup>A</sup> 5,62 $\pm$ 0,01	<sup>C</sup> 6,03 $\pm$ 0,02	<sup>B</sup> 5,82 $\pm$ 0,03
<b>Producto final</b>	<sup>B</sup> 6,12 $\pm$ 0,04	<sup>AB</sup> 6,00 $\pm$ 0,09	<sup>A</sup> 5,97 $\pm$ 0,03	<sup>A</sup> 6,00 $\pm$ 0,02

<sup>A-C</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Las diferencias en el pH de las salmueras fueron debidas probablemente a diferencias en la composición de los extractos, especialmente en relación a la presencia de compuestos acidificantes. En este sentido, Esteruelas y col. (2011) indicaron que entre los compuestos fenólicos del vino blanco había un elevado porcentaje de ácidos. Sin embargo, estas diferencias no se vieron reflejadas en el producto final. Esto podría explicarse porque la carne presenta capacidad tamponante suficiente para compensar las diferencias de pH debidas a las salmueras Krause y col. (2011).

En la tabla 30 se presentan los valores obtenidos para los nitratos y nitritos residuales de los lotes de lomo Sajonia elaborados, los valores obtenidos se presentan. El contenido en **nitratos** residuales del lomo Sajonia elaborado con un 1,80% de cualquiera de los dos antioxidantes utilizados fue mayor ( $p < 0,05$ ) que el de los lotes elaborados con un 0,60%. Resultados similares fueron encontrados por Terns y col. (2011) que, en salchichas cocidas elaboradas con un extracto vegetal, observaron un mayor contenido en nitratos residuales cuando en su formulación se incluía un extracto de cereza como antioxidante. Sebraneck (1979) indicó la importancia del pH en los niveles residuales de nitritos y apuntó que una disminución de al menos 0,2 unidades de pH durante el proceso de elaboración podría duplicar la velocidad de las reacciones de curado. En nuestro caso, el pH de las salmueras elaboradas con el mayor porcentaje de cualquiera de los 2 antioxidantes evaluados fue menor que el de las otras dos. También diversos autores han indicado que en los

productos cárnicos elaborados con nitritos, parte de la cantidad inicialmente añadida de este aditivo puede transformarse en nitrato (Pérez-Rodríguez y col., 1996; Sindelar y col., 2007c; Terns y col., 2011).

**Tabla 30.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en el contenido en nitratos y nitritos de los lomos Sajonia elaborados con diferentes tipos y cantidades de antioxidantes naturales.

	VVB-0,60	VVB-1,80	VRSO-0,60	VRSO-1,80
Nitratos (mg/kg)	<20	23,95 $\pm$ 0,35	<20	31,60 $\pm$ 5,09
Nitritos (mg/kg)	<sup>B</sup> 141,37 $\pm$ 39,21	<sup>A</sup> 84,59 $\pm$ 19,99	<sup>B</sup> 143,54 $\pm$ 58,13	<sup>AB</sup> 94,48 $\pm$ 17,54

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Para los **nitritos**, en el caso del lomo Sajonia elaborado con extracto de vino blanco, los niveles de nitritos disminuyeron ( $p < 0,05$ ) de manera dependiente de la dosis añadida, mientras que en el caso del lomo Sajonia elaborado con extracto de romero, salvia y orégano el nivel de nitrito no fue estadísticamente reducido ( $p > 0,05$ ) al incrementar el contenido de antioxidante. Viuda-Martos y col. (2009b, 2010c) encontraron que el nivel de nitritos residuales de salchichas y mortadela disminuía al adicionar subproductos y aceites esenciales procedentes de cítricos durante la elaboración de los mismos. Estos autores indicaron que la disminución del nitrito residual era, probablemente, debida a la reacción de diferentes biocompuestos presentes en la fibra de los cítricos, tales como flavonoides y otros polifenoles o en los aceites esenciales, especialmente los terpenos y alcoholes. También, Terns y col. (2011) obtuvieron niveles de nitrito residual más bajos en salchichas cocidas elaboradas con extracto de cereza como antioxidante natural debido, según estos autores, al alto contenido en ácido ascórbico de este extracto.

### 5.3.2.3. Evaluación instrumental del color

En la tabla 31 se muestran los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$  y del índice nitrosilhemocromo de los distintos lotes de lomo Sajonia elaborados. Puede

observarse que la adición de diferentes tipos y concentraciones de antioxidantes no tuvo efecto ( $p>0,05$ ) sobre ninguno de los parámetros de color.

**Tabla 31.** Resultados obtenidos (media  $\pm$  desviación estándar) en la evaluación instrumental del color en los lotes experimentales de lomo Sajonia.

	VVB- 0,60	VVB- 1,80	VRSO-0,60	VRSO-1,80
<b>L*</b>	71,31 $\pm$ 2,94	73,08 $\pm$ 3,04	73,39 $\pm$ 2,02	72,33 $\pm$ 1,71
<b>a*</b>	6,25 $\pm$ 0,59	5,44 $\pm$ 1,24	5,73 $\pm$ 0,59	6,22 $\pm$ 0,31
<b>b*</b>	8,42 $\pm$ 1,18	8,31 $\pm$ 0,61	7,85 $\pm$ 0,16	8,12 $\pm$ 0,82
<b>C*</b>	10,51 $\pm$ 1,12	10,04 $\pm$ 0,84	9,73 $\pm$ 0,28	10,24 $\pm$ 0,73
<b>H*</b>	53,24 $\pm$ 3,77	56,05 $\pm$ 6,55	53,93 $\pm$ 3,20	52,44 $\pm$ 2,60
<b>Nitrosilhemocromo</b>	1,64 $\pm$ 0,05	1,59 $\pm$ 0,14	1,58 $\pm$ 0,07	1,64 $\pm$ 0,05

Carpenter y col. (2007) observaron que cuando elaboraron albóndigas de cerdo cocidas con diferentes cantidades de extracto de semillas de uva, éstas presentaban mayor  $a^*$  comparadas con las albóndigas control; sin embargo, cuando se elaboraban con diferentes cantidades de extracto de gayuba, este parámetro no se veía afectado. Estos autores indicaron que este comportamiento pudo deberse a que el contenido total en polifenoles del extracto de semillas de uva era mayor que el del extracto de gayuba. También Naavena y col. (2008) observaron un aumento de  $a^*$  y una disminución de  $H^*$  cuando elaboraron salchichas de pollo cocidas con extracto de cáscara de granada (con mayor contenido en polifenoles) respecto de las elaboradas con zumo de granada (con menor contenido en polifenoles). Sin embargo, Sánchez-Zapata y col. (2011) no observaron diferencias en  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en salchichas cocidas elaboradas con diferentes cantidades de pasta de dátil. Tampoco Mitsumoto y col. (2005) describieron diferencias en estos parámetros, en albóndigas cocidas de ternera o pollo, cuando éstas eran elaboradas con diferentes cantidades de catequinas de té. Teniendo en cuenta estos estudios, se podría decir que el efecto de la inclusión de antioxidantes

naturales en el color depende tanto del tipo de polifenoles como de su concentración. Sin embargo, en nuestro estudio las diferencias entre extractos y concentraciones no fueron suficientes para determinar modificaciones en los parámetros de color evaluados.

#### 5.3.2.4. Características sensoriales evaluadas con un panel de catadores (consumidores)

Los resultados obtenidos en las pruebas discriminatorias (test triangular) realizadas para determinar si existían diferencias entre los lotes de lomo Sajonia elaborados, se muestran en la tabla 32 (resultados obtenidos cuando se evaluaron lonchas de lomo Sajonia sin calentar) y en la tabla 33 (resultados obtenidos cuando se evaluaron lonchas de lomo Sajonia calentadas).

**Tabla 32.** Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos y concentración de antioxidantes naturales en las muestras antes de ser calentadas. Número de jueces n=40.

Muestras comparadas	Número de juicios correctos	Nivel de significación
VVB- 0,60 y VVB- 1,80	27	***
VRSO- 0,60 y VRSO- 1,80	40	***
VVB- 0,60 y VRSO- 0,60	23	**
VVB-1,80 y VRSO- 1,80	7	ns
VVB- 0,60 y VRSO- 1,80	12	ns
VVB- 1,80 y VRSO- 0,60	40	***

ns: no significativo; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001.

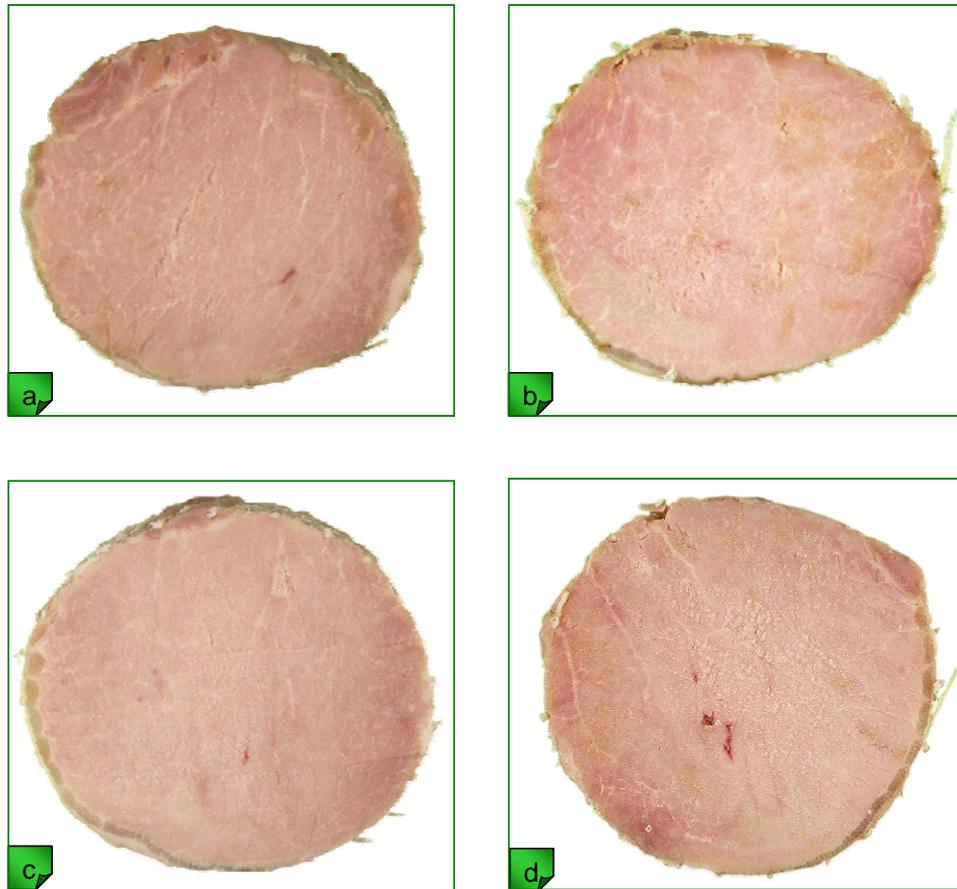
En relación a las muestras evaluadas antes de ser calentadas, los consumidores encontraron diferencias (p<0,001) entre los lotes de lomo Sajonia elaborados con diferente concentración del mismo tipo de antioxidante (tabla 32). Las diferencias entre lotes fueron debidas a que los lomos elaborados con una mayor concentración de antioxidantes presentaban

manchas, lo que implicaba una menor homogeneidad del color del producto. Viuda-Martos y col. (2009b) obtuvieron puntuaciones más bajas en la apariencia general en salchichas elaboradas con la concentración más alta (10%) de aguas procedentes del lavado de cítricos durante el proceso de obtención de la fibra.

Cuando se utilizó la misma concentración pero diferente tipo de antioxidante, los catadores sólo fueron capaces de diferenciar ( $p < 0,01$ ) entre los lotes elaborados con la menor cantidad de antioxidante. Según el panel de catadores, las diferencias encontradas fueron debidas a que los lomos elaborados con extracto de romero, salvia y orégano presentaban un color más pálido que los elaborados con extracto de vino blanco.

Finalmente, cuando se utilizó diferente concentración y tipo de antioxidante natural los catadores sólo diferenciaron ( $p < 0,001$ ) entre el lote elaborado con un 1,80% de extracto de vino blanco y el elaborado con un 0,60% de extracto de romero, salvia y orégano. La presencia de manchas en el lomo Sajonia del lote VVB-1,80 y la menor intensidad de color rojo en el lomo Sajonia del lote VRSO-0,60 fueron las características que permitieron establecer estas diferencias. En la figura 30 se puede observar el aspecto visual del lomo Sajonia de los diferentes lotes.

Cuando las pruebas triangulares se realizaron con las muestras una vez calentadas se obtuvieron resultados similares (tabla 33). Sin embargo, en este caso, las diferencias encontradas entre el lomo Sajonia elaborado con diferentes porcentajes de extracto de vino blanco fueron debidas al olor y las encontradas al elaborar lomo Sajonia con cantidades diferentes de extracto de romero, salvia y orégano fueron debidas al flavor. Cuando se compararon lotes



**Figura 30.** Aspecto visual del lomo Sajonia elaborado con: a) 0,60 % de extracto de vino blanco (Lote VVB-0,60) b) 1,80% de extracto de vino blanco (Lote VVB-1,8) c) 0,60% de extracto de romero, salvia y orégano (Lote VRSO-0,60) y d) 1,80% de extracto de romero, salvia y orégano (Lote VRSO-1,80).

elaborados con diferentes extractos, los parámetros que permitieron establecer diferencias fueron el olor a especias (VVB- 0,60 y VRSO- 0,60) y el flavor (VVB- 1,80 y VRSO- 0,60). Viuda-Martos y col. (2010d) señalaron que cuando se incluían aceites esenciales de romero en la elaboración de salchichas, éstas tenían un marcado aroma a este aceite.

## Resultados y Discusión

**Tabla 33.** Resultados obtenidos en las pruebas triangulares realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferentes tipos y concentración de antioxidantes naturales en las muestras después de ser calentadas. Número de jueces n=40.

Muestras comparadas	Número de juicios correctos	Nivel de significación
VVB- 0,60 y VVB- 1,80	29	***
VRSO- 0,60 y VRSO- 1,80	23	**
VVB- 0,60 y VRSO- 0,60	29	***
VVB- 1,80 y VRSO- 1,80	17	ns
VVB- 0,60 y VRSO- 1,80	19	ns
VVB- 1,80 y VRSO- 0,60	25	***

ns: no significativo; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

En la tabla 34 se muestran los resultados de las pruebas de preferencia realizadas con las muestras de lomo de Sajonia no calentadas. Puede observarse que en las pruebas de preferencia, el lote de lomo Sajonia elegido fue el elaborado con 0,60% de extracto de vino blanco debido a que presentó un color rosado homogéneo.

**Tabla 34.** Resultados obtenidos en las pruebas de preferencia realizadas en el lomo Sajonia elaborado con diferente tipos y concentraciones de antioxidantes naturales en las muestras antes de ser calentadas. Número de jueces n=40.

Muestras comparadas	Número de juicios coincidentes	Nivel de significación
VVB- 0,60 y VVB- 1,80	33 (VVB-0,60)	***
VRSO- 0,60 y VRSO- 1,80	29 (VRSO-0,60)	**
VVB- 0,60 y VRSO- 0,60	29 (VVB-0,60)	**
VVB- 1,80 y VRSO- 0,60	19 (VVB-1,80)	ns

ns: no significativo ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

#### **5.3.2.5. RESUMEN**

La utilización de diferentes tipos y concentraciones de antioxidantes naturales no implicó diferencias ni en los parámetros tecnológicos, ni en el pH, ni en el color (evaluado de forma instrumental) del lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal. En relación a los nitritos residuales, en ningún caso se obtuvieron valores que permitieran clasificar el producto como ecológico. La utilización de la concentración más alta de extracto de vino blanco (1,8%) aunque permitió obtener un menor contenido de nitritos, implicó un mayor contenido en nitrato residual. Sin embargo, desde el punto de vista sensorial, el lomo Sajonia elaborado con un 0,60% de extracto de vino blanco fue preferido por los catadores debido a que presentaba un color rosado más intenso y homogéneo.

#### **5.4. ESTUDIO 4. EFECTO DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN LA VIDA ÚTIL DE LOS LOTES EXPERIMENTALES DE LOMO SAJONIA**

Para conseguir el objetivo planteado en este estudio, se elaboraron tres lotes de lomo Sajonia de la forma indicada en el apartado 4.1.4 del planteamiento experimental:

**Lote ECO:** lomo Sajonia elaborado de acuerdo con la legislación que regula la producción ecológica (80 mg/kg de nitritos y sin fosfatos).

**Lote VVB:** lomo Sajonia elaborado con extracto vegetal (1,32%), extracto de vino blanco (0,60%) y sin fosfatos.

**Lote VVBF:** lomo Sajonia elaborado con extracto vegetal (1,32%), extracto de vino blanco (0,60%) y con fosfatos (1.000 mg/kg).

Los lomos de cada lote fueron loncheados, envasados al vacío y almacenados en refrigeración (2°C) bajo diferentes condiciones de iluminación (oscuridad o luz). A lo largo del tiempo (0, 7, 14 y 21 días), se estudió la evolución de parámetros microbiológicos (recuentos de flora psicrotrofa y de flora anaerobia), físico-químicos (pH,  $a_w$ , oxidación lipídica, color y la textura medida instrumentalmente) y sensoriales (prueba de aceptación).

##### **5.4.1. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS**

La evolución de los recuentos microbiológicos a lo largo del tiempo de almacenamiento en condiciones de refrigeración de los tres lotes de lomo Sajonia experimentales conservados en oscuridad y en luz, se muestran en las tablas 35 y 36, respectivamente.

En general, en todos los lotes de lomo Sajonia almacenados en oscuridad (tabla 35) y en luz (tabla 36), se observó un aumento ( $p < 0,05$ ) en los recuentos de los grupos microbianos hasta el día 14 de almacenamiento. A partir de este tiempo, los recuentos permanecieron constantes ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 35.** Evolución de los parámetros microbiológicos (log ufc/g) (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad.

	Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Flora psicrotrofa	ECO	<1	3,0 $\pm$ 0,7 <sub>a</sub>	6,1 $\pm$ 0,9 <sub>bc</sub>	5,5 $\pm$ 1,6 <sub>b</sub>
	VVB	<sup>B</sup> 2,3 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>	3,7 $\pm$ 1,0 <sub>a</sub>	6,6 $\pm$ 0,9 <sub>b</sub>	7,3 $\pm$ 1,1 <sub>b</sub>
	VVBF	<sup>A</sup> 1,4 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>	4,3 $\pm$ 1,0 <sub>b</sub>	7,1 $\pm$ 0,6 <sub>cd</sub>	5,5 $\pm$ 1,7 <sub>bc</sub>
Flora anaerobia	ECO	<1	1,6 $\pm$ 0,7 <sub>a</sub>	6,2 $\pm$ 0,5 <sub>bc</sub>	5,2 $\pm$ 0,9 <sub>b</sub>
	VVB	<1	3,3 $\pm$ 1,0 <sub>a</sub>	6,4 $\pm$ 0,8 <sub>b</sub>	6,5 $\pm$ 1,0 <sub>b</sub>
	VVBF	<1	3,0 $\pm$ 0,8 <sub>a</sub>	6,4 $\pm$ 0,7 <sub>bc</sub>	5,6 $\pm$ 1,6 <sub>b</sub>

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada microorganismo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-d</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada microorganismo y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

**Tabla 36.** Evolución de los parámetros microbiológicos (log ufc/g) (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz.

	Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Flora psicrotrofa	ECO	<1	4,9 $\pm$ 1,7	7,8 $\pm$ 1,2	8,1 $\pm$ 2,5
	VVB	<sup>B</sup> 2,3 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>	5,6 $\pm$ 0,4 <sub>b</sub>	9,2 $\pm$ 0,2 <sub>c</sub>	-
	VVBF	<sup>A</sup> 1,4 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>	5,6 $\pm$ 0,8 <sub>b</sub>	8,1 $\pm$ 1,2 <sub>b</sub>	6,6 $\pm$ 2,7 <sub>b</sub>
Flora anaerobia	ECO	<1	4,3 $\pm$ 2,5 <sub>a</sub>	7,6 $\pm$ 0,6 <sub>b</sub>	7,6 $\pm$ 1,6 <sub>ab</sub>
	VVB	<1	5,5 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>	8,3 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	-
	VVBF	<1	5,2 $\pm$ 1,0	7,6 $\pm$ 0,9	6,4 $\pm$ 3,4

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada microorganismo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-b</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada microorganismo y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

En el día 14, en todos los lotes y condiciones de almacenamiento se obtuvieron recuentos próximos a 7 log ufc/g, valor a partir del cual el producto puede considerarse como inaceptable (Dainty y Mackey, 1992). Resultados similares a los obtenidos en este estudio fueron encontrados por Samelis y col. (2000) que obtuvieron recuentos totales de 7-8 log ufc/g en lomo, jamón y pavo cocidos, loncheados, envasados al vacío y almacenados a 4°C durante 15 días. También este resultado fue obtenido por Pexara y col. (2002) en pavo cocido y en salchichas envasados al vacío y almacenados a 4°C. En ambos casos se evaluó la vida útil de los productos en oscuridad. En jamón cocido loncheado, envasado al vacío y almacenado a 7°C en un mural expositor, Andersen y col. (1990) obtuvieron recuentos totales de 8,3 log ufc/g después de 14 días de almacenamiento.

Entre lotes, en el día 0, el lomo Sajonia del lote VVB presentó los valores más altos para los recuentos de flora psicrotrofa, mientras que el lote ECO presentó valores por debajo del límite de detección. Los recuentos de flora anaerobia en el día 0 estuvieron por debajo del límite de detección en todos los casos. Teniendo en cuenta que el proceso de cocción al que se someten estos productos durante su elaboración es capaz de eliminar las formas vegetativas de los microorganismos, la manipulación posterior de los lotes (loncheado, envasado, etc.) pudo ser la responsable de los recuentos obtenidos en el día 0 para la flora psicrotrofa. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Kreyenschmidt y col. (2009) que indicaron recuentos totales entre 1,8 y 2,6 log ufc/g en jamón cocido loncheado y envasado al comienzo del almacenamiento.

Para el resto de tiempos de muestreo no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los lotes, ni para los recuentos de flora psicrotrofa ni para los recuentos de flora anaerobia, en ninguna de las condiciones de almacenamiento. Este hecho podría resultar llamativo teniendo en cuenta las diferencias, en cuanto a contenido en aditivos, entre lotes. Por un lado, es conocido que los fosfatos tienen capacidad antimicrobiana debido a que se unen con metales bivalentes esenciales para la pared celular de los microorganismos, interfiriendo en la estabilidad de la pared celular (Luck y

Jager, 1998). Por otro lado, los nitritos inhiben el crecimiento de bacterias, principalmente de las anaerobias como *Clostridium botulinum*, bien mediante el secuestro de hierro y otros metales esenciales para el metabolismo de este microorganismo (Payne y col., 1990) o bien mediante la interferencia con compuestos presentes en la membrana, limitando el intercambio celular y el transporte de sustratos a través de ésta (Ventanas, 2004).

Por tanto, estos resultados mostraron que, desde el punto de vista microbiológico, la elaboración de lomo Sajonia con extracto vegetal no implicó una disminución de la vida útil respecto al producto elaborado con nitritos o con extracto vegetal y fosfatos, estableciéndose ésta en 14 días.

#### 5.4.2. EVOLUCIÓN DEL pH Y DE LA $a_w$

En las tablas 37 y 38 se muestran los resultados obtenidos para el pH y la  $a_w$  en los lotes de lomo Sajonia experimentales conservados en oscuridad y en luz, respectivamente.

**Tabla 37.** Evolución del pH y de la  $a_w$  (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad.

	Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
pH	ECO	5,87 $\pm$ 0,06	6,02 $\pm$ 0,09	5,94 $\pm$ 0,09	5,97 $\pm$ 0,00
	VVB	5,84 $\pm$ 0,06 <sub>a</sub>	5,96 $\pm$ 0,05 <sub>b</sub>	5,92 $\pm$ 0,01 <sub>b</sub>	5,94 $\pm$ 0,02 <sub>b</sub>
	VVBF	5,87 $\pm$ 0,03 <sub>a</sub>	6,08 $\pm$ 0,02 <sub>c</sub>	6,02 $\pm$ 0,06 <sub>bc</sub>	5,99 $\pm$ 0,03 <sub>b</sub>
$a_w$	ECO	<sup>B</sup> 0,980 $\pm$ 0,000	0,979 $\pm$ 0,002	0,978 $\pm$ 0,002	0,977 $\pm$ 0,000
	VVB	<sup>A</sup> 0,975 $\pm$ 0,001	0,980 $\pm$ 0,001	0,979 $\pm$ 0,002	0,978 $\pm$ 0,002
	VVBF	<sup>A</sup> 0,972 $\pm$ 0,003	0,978 $\pm$ 0,002	0,978 $\pm$ 0,001	0,976 $\pm$ 0,002

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sub>a-b</sub> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

*Resultados y Discusión*

**Tabla 38.** Evolución del pH y de la  $a_w$  (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz.

Lotes		Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
pH	ECO	5,87 $\pm$ 0,06	<sup>A</sup> 5,94 $\pm$ 0,06	5,89 $\pm$ 0,17	<sup>A</sup> 5,90 $\pm$ 0,02
	VVB	5,84 $\pm$ 0,06 <sub>a</sub>	<sup>AB</sup> 5,98 $\pm$ 0,05 <sub>b</sub>	5,76 $\pm$ 0,06 <sub>a</sub>	-
	VVBF	5,88 $\pm$ 0,05 <sub>a</sub>	<sup>B</sup> 6,07 $\pm$ 0,03 <sub>b</sub>	5,89 $\pm$ 0,09 <sub>a</sub>	<sup>B</sup> 5,98 $\pm$ 0,02 <sub>ab</sub>
$a_w$	ECO	<sup>B</sup> 0,980 $\pm$ 0,000	0,977 $\pm$ 0,002	0,976 $\pm$ 0,002	0,979 $\pm$ 0,003
	VVB	<sup>A</sup> 0,975 $\pm$ 0,001	0,979 $\pm$ 0,002	0,979 $\pm$ 0,003	-
	VVBF	<sup>A</sup> 0,972 $\pm$ 0,003	0,977 $\pm$ 0,003	0,978 $\pm$ 0,001	0,976 $\pm$ 0,005

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sub>a-b</sub> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

El pH del lomo Sajonia ECO permaneció constante ( $p > 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento en condiciones de oscuridad, mientras que el pH de los lomos VVB y VVBF aumentó ligeramente ( $p < 0,05$ ) en el día 7 y, posteriormente, permaneció constante ( $p > 0,05$ ). Entre lotes, no hubo diferencias significativas en el pH en ninguno de los días de muestreo. En los lotes de lomo Sajonia almacenados en luz, este parámetro permaneció prácticamente constante durante todo el almacenamiento. Bajo estas condiciones de almacenamiento, los lomos elaborados con extractos vegetales y fosfatos (lote VVBF) presentaron valores de pH más altos que los lomos Sajonia del lote ECO a los 7 y 21 día de almacenamiento. En todos los casos, la magnitud de las diferencias encontradas fue pequeña por lo que podría decirse que ni el tiempo ni la formulación tuvieron efecto sobre el pH. Otros autores tampoco observaron diferencias en el pH a lo largo del periodo de almacenamiento en lomo cocido loncheado y envasado al vacío (Díaz y col., 2008), en jamón cocido envasado al vacío o en atmósferas modificadas que no contenían oxígeno (Scannell y col., 2002; Vermeiren y col., 2004, 2006) y en salchichas cocidas envasadas en diferentes atmósferas modificadas (Viuda-Martos y col., 2010a).

Por el contrario, en otros estudios (Sindelar y col., 2007b; Vasilopoulos y col., 2007; Hu y col., 2009; Kreyenschmidt y col., 2009; Viuda-Martos y col., 2010c) se ha indicado una disminución del pH con el tiempo de almacenamiento en diferentes productos cocidos envasados al vacío, que fue atribuida a un crecimiento diferente de las bacterias ácido lácticas (BAL), derivado de diferencias en el contenido en azúcares del producto (Samelis y col., 2000). En nuestro estudio, la elaboración de los diferentes lotes de lomo Sajonia se llevó a cabo con el mismo porcentaje de dextrosa (3%), lo que podría ser la causa de que el pH de los diferentes lotes elaborados permaneciera prácticamente constante.

Por otro lado, la  $a_w$  presentó un comportamiento similar al del pH a lo largo del tiempo de almacenamiento, tanto cuando el lomo Sajonia fue almacenado en oscuridad como cuando se almacenó en luz. Sólo se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes en el día 0, lo que podría explicarse debido a la diferente concentración de solutos de las salmueras utilizadas en la elaboración de los diferentes lotes. Finalmente, indicar que, en todos los casos, los valores obtenidos para la  $a_w$  están dentro del rango indicado por Scannell y col. (2002) como habituales para este tipo de productos (valores de  $a_w$  de 0,97-0,98).

#### 5.4.3. EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE OXIDACIÓN (TBARS)

Los resultados obtenidos para el índice de oxidación en los lotes de lomo Sajonia experimentales conservados en oscuridad y en luz se muestran en las tablas 39 y 40 respectivamente.

**Tabla 39.** Evolución del índice de oxidación lipídica (mg de MDA/kg de muestra) (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad.

Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
ECO	0,06 $\pm$ 0,02	0,11 $\pm$ 0,01	0,10 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,02
VVB	0,07 $\pm$ 0,00	0,12 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,11	0,12 $\pm$ 0,04
VVBF	0,08 $\pm$ 0,03	0,18 $\pm$ 0,11	0,21 $\pm$ 0,11	0,09 $\pm$ 0,03

**Tabla 40.** Evolución del índice de oxidación lipídica (mg de MDA/kg de muestra) (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz.

Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
ECO	0,06 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,02	0,09 $\pm$ 0,02	0,07 $\pm$ 0,01
VVB	0,07 $\pm$ 0,00	0,14 $\pm$ 0,05	0,13 $\pm$ 0,08	-
VVBF	0,08 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,06	0,16 $\pm$ 0,11	0,10 $\pm$ 0,06

Durante el período de almacenamiento, no se encontraron diferencias en los valores de TBARS ( $p > 0,05$ ) ni en los lomos que se almacenaron en oscuridad ni en los lomos que se conservaron simulando condiciones de exposición en los supermercados. A diferencia de los resultados obtenidos en este ensayo, otros autores han observado un aumento de la oxidación lipídica en jamón cocido elaborado con nitritos a los 10 días de ser envasado al vacío y almacenado en luz (Dineen y col., 2000), en mortadela elaborada con ingredientes naturales, a lo largo de 24 días de ser envasada y almacenada con luz (Viuda-Martos y col., 2010c) y en jamón cocido elaborado con extractos naturales a los 42 días de ser envasado al vacío y almacenado en oscuridad (Núñez de González y col., 2009).

Møller y col. (2000) apuntaron que la estabilidad lipídica de los productos cocidos, loncheados y envasados depende del tipo de envasado, del efecto de los nitritos residuales y del contenido en grasa presente en estos productos. Además, cuando los productos cárnicos cocidos envasados se exponen a la luz, se puede favorecer la oxidación de lípidos, vitaminas, proteínas etc., dando lugar a la formación de sabores anómalos, pérdida de nutrientes y decoloración de los alimentos (Singh y Singh, 2005). Estos procesos dependen de la intensidad de la luz, de la duración de la exposición a la luz y de la resistencia del envase a la luz, siendo necesaria la presencia de oxígeno para que se inicien (Rakesh y Singh, 2005).

En nuestro estudio, dado que se utilizó un envasado al vacío tipo *skin*, posiblemente, las muestras presentarán muy bajos niveles de oxígeno, lo que

pudo minimizar los fenómenos de oxidación lipídica a lo largo del tiempo estudiado. Por otro lado, de acuerdo con los datos aportados en capítulos anteriores, los niveles de nitritos residuales presentes en los diferentes lotes de lomos elaborados (30-140 mg/ kg) y el contenido graso del producto también pudieron contribuir a mantener la estabilidad lipídica del lomo Sajonia a lo largo del tiempo.

Entre lotes, tampoco se encontraron diferencias ( $p>0,05$ ) en los valores de TBARS del lomo Sajonia elaborado con nitritos respecto del elaborado con un extracto vegetal, en ninguno de los tiempos evaluados, en ninguna de las condiciones de almacenamiento estudiadas (oscuridad o luz). Sin embargo, Sindelar y col. (2007b) obtuvieron valores de TBARS superiores en jamón cocido elaborado con un extracto vegetal (de 0,24-0,30 mg MDA/kg) a los del jamón cocido elaborado con nitritos (0,13 mg MDA/kg). Estos autores indicaron que este hecho pudo deberse a que la duración de la etapa de cocción fue mayor cuando utilizaron un extracto vegetal junto con cultivos estándar como estrategia para elaborar jamón cocido. En nuestro estudio, la duración de la fase de cocción del lomo Sajonia elaborado con nitritos fue similar a la del elaborado con un extracto vegetal.

Finalmente, indicar que, en todos los casos, los valores de TBARS obtenidos fueron muy bajos (desde 0,06 a 0,16 mg de MDA/kg de muestra), y similares a los aportados por Sárraga y col. (2007) y Haak y col. (2006) como habituales en jamón cocido con nitritos añadidos (0,09-0,17 mg MDA/kg). Además, es preciso indicar que los valores fueron inferiores al valor aceptado como umbral a partir del cual es posible percibir la rancidez oxidativa en los productos cárnicos ( $<1,0$  mg MDA/kg) (Ockerman, 1976; Verma y Sahoo, 2000).

#### **5.4.4. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COLOR MEDIDOS DE FORMA INSTRUMENTAL**

Los resultados obtenidos para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en los diferentes lotes de lomo Sajonia elaborados, envasados y almacenados en oscuridad y en luz se muestran en las tablas 41 y 42, respectivamente.

*Resultados y Discusión*

**Tabla 41.** Evolución de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes de lomo Sajonia experimentales durante su almacenamiento en oscuridad.

	Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
$L^*$	ECO	73,76 $\pm$ 2,28	<sup>B</sup> 75,28 $\pm$ 1,36	<sup>B</sup> 73,65 $\pm$ 1,17	<sup>B</sup> 73,53 $\pm$ 1,25
	VVB	71,31 $\pm$ 1,10	<sup>AB</sup> 72,85 $\pm$ 1,84	<sup>B</sup> 73,57 $\pm$ 0,48	<sup>B</sup> 72,90 $\pm$ 1,18
	VVBF	70,06 $\pm$ 1,23	<sup>A</sup> 69,65 $\pm$ 1,60	<sup>A</sup> 70,07 $\pm$ 1,26	<sup>A</sup> 70,33 $\pm$ 1,02
$a^*$	ECO	<sup>AB</sup> 5,37 $\pm$ 1,01	5,84 $\pm$ 0,38	5,35 $\pm$ 0,44	5,54 $\pm$ 0,69
	VVB	<sup>B</sup> 5,89 $\pm$ 0,48 <sub>ab</sub>	6,34 $\pm$ 0,43 <sub>b</sub>	5,68 $\pm$ 0,59 <sub>ab</sub>	5,17 $\pm$ 0,43 <sub>a</sub>
	VVBF	<sup>A</sup> 4,51 $\pm$ 0,38 <sub>a</sub>	6,33 $\pm$ 0,47 <sub>b</sub>	6,28 $\pm$ 0,44 <sub>b</sub>	4,75 $\pm$ 0,52 <sub>a</sub>
$b^*$	ECO	<sup>AB</sup> 8,87 $\pm$ 0,59	8,20 $\pm$ 0,26	<sup>A</sup> 8,22 $\pm$ 0,50	8,94 $\pm$ 0,12
	VVB	<sup>B</sup> 9,76 $\pm$ 0,27	9,42 $\pm$ 0,49	<sup>B</sup> 9,54 $\pm$ 0,30	9,25 $\pm$ 0,28
	VVBF	<sup>A</sup> 8,77 $\pm$ 0,54	8,80 $\pm$ 0,28	<sup>B</sup> 9,50 $\pm$ 0,91	8,51 $\pm$ 0,54

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-b</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

En el lomo Sajonia almacenado en oscuridad (tabla 41), no se detectaron diferencias ( $p > 0,05$ ) al final del almacenamiento en  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en ninguno de los lotes evaluados. De forma similar a los resultados encontrados en este estudio, Díaz y col. (2008), Nannerup y col. (2004) y Mercadante y col. (2010) no encontraron cambios en el color de diferentes productos cárnicos cocidos elaborados con nitritos, envasados y almacenados en refrigeración, durante su almacenamiento en oscuridad. En estudios realizados en productos cárnicos cocidos elaborados con diferentes extractos naturales se observó que los parámetros  $L^*$  y  $b^*$  permanecían estables hasta el día 28 de su almacenamiento en oscuridad (Sindelar y col., 2007a,b; Núñez de González y col., 2009).

El mismo comportamiento se observó en los lotes de lomo Sajonia conservados en luz (tabla 42) que al final de su almacenamiento presentaron valores de L\*, a\* y b\* similares ( $p > 0,05$ ) a los iniciales.

**Tabla 42.** Evolución de los parámetros de color (L\*, a\*, b\*) (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz.

Lotes		Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
L*	ECO	73,76 $\pm$ 2,28	74,66 $\pm$ 1,39	73,80 $\pm$ 0,86	<sup>B</sup> 75,03 $\pm$ 1,23
	VVB	71,31 $\pm$ 1,10	72,44 $\pm$ 2,09	72,06 $\pm$ 1,82	-
	VVBF	70,06 $\pm$ 1,23	71,41 $\pm$ 3,75	71,25 $\pm$ 2,55	<sup>A</sup> 70,88 $\pm$ 1,81
a*	ECO	<sup>AB</sup> 5,37 $\pm$ 1,01	5,29 $\pm$ 0,81	5,25 $\pm$ 0,16	5,58 $\pm$ 0,66
	VVB	<sup>B</sup> 5,89 $\pm$ 0,48	5,41 $\pm$ 0,55	5,91 $\pm$ 0,54	-
	VVBF	<sup>A</sup> 4,51 $\pm$ 0,38 <sub>a</sub>	5,71 $\pm$ 0,65 <sub>b</sub>	5,79 $\pm$ 0,22 <sub>b</sub>	4,82 $\pm$ 1,37 <sub>ab</sub>
b*	ECO	<sup>AB</sup> 8,87 $\pm$ 0,59	8,19 $\pm$ 0,31	<sup>A</sup> 8,32 $\pm$ 0,57	8,20 $\pm$ 0,82
	VVB	<sup>B</sup> 9,76 $\pm$ 0,27	9,41 $\pm$ 1,27	<sup>B</sup> 10,28 $\pm$ 0,45	-
	VVBF	<sup>A</sup> 8,77 $\pm$ 0,54	9,20 $\pm$ 0,54	<sup>B</sup> 9,49 $\pm$ 0,48	8,32 $\pm$ 1,96

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-b</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

A diferencia de estos resultados, Scannell y col. (2002) obtuvieron en jamón cocido loncheado, envasado y almacenado en un mural expositor, una disminución de a\* y un aumento de L\* y de b\* durante su almacenamiento. También, Andersen y col. (1988) y Pexara y col. (2002) observaron decoloración en jamón cocido loncheado, envasado al vacío y almacenado en cabinas de refrigeración iluminadas. Estos autores apuntaron que el grado de blanqueamiento del jamón cocido dependía del porcentaje de oxígeno presente en el envase tras el envasado y de la permeabilidad del material plástico

utilizado para el envasado. De acuerdo con Honikel (2008) cuando el nitrosilhemocromo, pigmento responsable del color rosa de los productos cárnicos cocidos, se expone a la luz en presencia de oxígeno se oxida dando lugar a un color más apagado en la superficie del producto. En este sentido, Larsen y col. (2006) establecieron que el nivel de oxígeno residual necesario para que pudieran llevarse a cabo los procesos de fotooxidación era 0,15%. Los resultados obtenidos en nuestro estudio son lógicos ya que se utilizó un envasado al vacío tipo *skin* por lo que, posiblemente, los valores de oxígeno eran inferiores a dicho porcentaje.

En estudios realizados en productos cárnicos cocidos elaborados con diferentes extractos naturales y almacenados en luz, Viuda-Martos y col. (2010a,c) observaron que mientras  $L^*$  permanecía constante a lo largo de 24 días de almacenamiento,  $a^*$  disminuía y  $b^*$  aumentaba a partir de los 12 días de envasado. Estos autores indicaron que la integridad estructural del alimento, el contenido y la disposición del pigmento y la disponibilidad de agua en la superficie pudieron ser los responsables de las modificaciones observadas en  $a^*$ , mientras que  $b^*$ , parámetro dependiente de las características de la matriz cárnica, pudo ser modificado por cambios en el pH, la  $a_w$ , etc. del producto. Es preciso indicar que a diferencia del extracto utilizado en nuestro estudio, los utilizados por estos autores contenían un elevado porcentaje de fibra.

Entre lotes se observaron diferencias ( $p < 0,05$ ) en el día 0 en  $a^*$  y en  $b^*$ . Estas diferencias podrían deberse a que los lotes fueron elaborados con diferentes formulaciones, lo que pudo influir en el color del producto final, tal y como se indicó en el Estudio 2 de esta Tesis.

A los 7, 14 y 21 días de almacenamiento en oscuridad y a los 21 días de almacenamiento en luz, se encontraron diferencias entre lotes en  $L^*$ , siendo el lote VVBF el que presentó los valores más bajos ( $p < 0,05$ ) para este parámetro. Esto pudo ser debido a que la utilización de fosfatos da lugar a una disminución del agua en la superficie, lo que resulta en una reducción de la reflexión de la luz y, consecuentemente, en un menor valor de  $L^*$  (Fernández-López y col., 2004a). Por otro lado, el lote ECO presentó el valor de  $b^*$  más

bajo ( $p < 0,05$ ) a los 14 días en ambas condiciones de almacenamiento, ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, a pesar de estas diferencias no se pudieron establecer tendencias claras.

#### **5.4.5. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TEXTURA EVALUADOS DE FORMA INSTRUMENTAL**

En las tablas 43 y 44 se muestran los valores obtenidos en la evaluación instrumental de la textura en los tres lotes de lomo Sajonia elaborados, durante su almacenamiento en oscuridad o en luz, respectivamente.

El lomo Sajonia de los lotes ECO y VVBF conservados en condiciones de oscuridad (tabla 43) presentó valores estables ( $p > 0,05$ ) a lo largo del tiempo de almacenamiento, en todos los parámetros de textura, mientras que el lomo del lote VVB presentó un incremento ( $p < 0,05$ ) de la dureza, de la cohesividad, de la gomosidad y de la masticabilidad.

Cuando el lomo Sajonia se almacenó en luz, para los diferentes parámetros de textura en los lotes ECO y VVB se observó un comportamiento similar al indicado para el almacenamiento en oscuridad (tabla 44). Sin embargo, el lomo Sajonia del lote VVBF presentó un aumento ( $p < 0,05$ ) de la gomosidad y de la masticabilidad con el tiempo de envasado.

Viuda-Martos y col. (2010b) observaron en salchichas cocidas envasadas al vacío y almacenadas en un mural expositor, un aumento de la dureza, de la gomosidad y de la masticabilidad a lo largo de 24 días de almacenamiento, tanto en las salchichas elaboradas sólo con nitritos como en las elaboradas con nitritos, fibra de naranja y aceite esencial de orégano.

También Ganhão y col. (2010) y Lara y col. (2011), en hamburguesas de cerdo cocidas elaboradas con extractos naturales, observaron un aumento de la dureza, de la gomosidad y de la masticabilidad a lo largo de su almacenamiento en un mural expositor. Estos autores indicaron que la oxidación proteica que tiene lugar durante el almacenamiento afecta a la solubilidad de las proteínas lo que puede provocar cambios en la textura. La mayor estabilidad observada en los lotes ECO y VVBF, especialmente en oscuridad, podría deberse a la

presencia de ascorbato de sodio en el caso del lote ECO y a la de fosfatos en el caso del lote VVBF. En este sentido, podría decirse que la incorporación de antioxidantes naturales en el lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal no permitió mantener la estabilidad de la textura durante el almacenamiento.

**Tabla 43.** Evolución de los parámetros de textura medida de forma instrumental (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad.

	Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Dureza (N)	ECO	<sup>AB</sup> 20,43 $\pm$ 2,53	21,17 $\pm$ 2,81	22,16 $\pm$ 5,86	23,84 $\pm$ 3,04
	VVB	<sup>A</sup> 17,38 $\pm$ 0,69 <sub>a</sub>	23,48 $\pm$ 0,95 <sub>b</sub>	19,37 $\pm$ 3,94 <sub>ab</sub>	21,87 $\pm$ 2,76 <sub>b</sub>
	VVBF	<sup>B</sup> 23,48 $\pm$ 0,86	24,44 $\pm$ 5,01	31,48 $\pm$ 7,39	25,69 $\pm$ 3,28
Elasticidad	ECO	0,59 $\pm$ 0,01	0,61 $\pm$ 0,03	0,61 $\pm$ 0,06	0,63 $\pm$ 0,05
	VVB	0,59 $\pm$ 0,10	0,66 $\pm$ 0,02	0,64 $\pm$ 0,03	0,63 $\pm$ 0,03
	VVBF	0,67 $\pm$ 0,05	0,66 $\pm$ 0,08	0,65 $\pm$ 0,02	0,76 $\pm$ 0,13
Cohesividad	ECO	<sup>B</sup> 0,56 $\pm$ 0,01	0,55 $\pm$ 0,06	0,53 $\pm$ 0,04	0,53 $\pm$ 0,04
	VVB	<sup>A</sup> 0,49 $\pm$ 0,03 <sub>a</sub>	0,57 $\pm$ 0,01 <sub>b</sub>	0,52 $\pm$ 0,01 <sub>b</sub>	0,54 $\pm$ 0,01 <sub>b</sub>
	VVBF	<sup>A</sup> 0,50 $\pm$ 0,04	0,52 $\pm$ 0,03	0,55 $\pm$ 0,03	0,52 $\pm$ 0,03
Gomosidad (N)	ECO	9,88 $\pm$ 1,77	11,67 $\pm$ 1,42	11,90 $\pm$ 3,99	12,91 $\pm$ 2,17
	VVB	8,12 $\pm$ 0,97 <sub>a</sub>	13,46 $\pm$ 0,81 <sub>b</sub>	10,05 $\pm$ 2,54 <sub>ab</sub>	11,74 $\pm$ 1,87 <sub>b</sub>
	VVBF	10,93 $\pm$ 1,92 <sub>a</sub>	13,51 $\pm$ 3,41 <sub>ab</sub>	17,33 $\pm$ 3,70 <sub>b</sub>	13,48 $\pm$ 2,24 <sub>ab</sub>
Masticabilidad (N)	ECO	<sup>AB</sup> 6,70 $\pm$ 0,93	7,17 $\pm$ 0,97	7,45 $\pm$ 3,20	8,48 $\pm$ 2,09
	VVB	<sup>A</sup> 5,02 $\pm$ 0,89 <sub>a</sub>	8,89 $\pm$ 0,46 <sub>c</sub>	6,47 $\pm$ 1,44 <sub>ab</sub>	7,33 $\pm$ 1,57 <sub>bc</sub>
	VVBF	<sup>B</sup> 7,84 $\pm$ 0,48	9,14 $\pm$ 2,00	11,20 $\pm$ 3,13	10,40 $\pm$ 3,23

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-c</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

**Tabla 44.** Evolución de los parámetros de textura medida de forma instrumental (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz.

Lotes		Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Dureza (N)	ECO	<sup>AB</sup> 20,43 $\pm$ 2,53	24,10 $\pm$ 3,72	25,41 $\pm$ 8,04	31,57 $\pm$ 9,75
	VVB	<sup>A</sup> 17,38 $\pm$ 0,69 <sub>a</sub>	19,57 $\pm$ 0,69 <sub>b</sub>	28,44 $\pm$ 2,37 <sub>c</sub>	-
	VVBF	<sup>B</sup> 23,48 $\pm$ 0,86 <sub>ab</sub>	20,31 $\pm$ 2,33 <sub>a</sub>	29,75 $\pm$ 5,88 <sub>bc</sub>	30,31 $\pm$ 4,52 <sub>c</sub>
Elasticidad	ECO	0,59 $\pm$ 0,01 <sub>a</sub>	0,65 $\pm$ 0,05 <sub>ab</sub>	0,65 $\pm$ 0,07 <sub>ab</sub>	0,69 $\pm$ 0,03 <sub>b</sub>
	VVB	0,59 $\pm$ 0,10	0,64 $\pm$ 0,06	0,62 $\pm$ 0,01	-
	VVBF	0,67 $\pm$ 0,05 <sub>ab</sub>	0,72 $\pm$ 0,07 <sub>ab</sub>	0,65 $\pm$ 0,01 <sub>a</sub>	0,82 $\pm$ 0,10 <sub>b</sub>
Cohesividad	ECO	<sup>B</sup> 0,56 $\pm$ 0,01	0,56 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,03	0,56 $\pm$ 0,01
	VVB	<sup>A</sup> 0,49 $\pm$ 0,03 <sub>a</sub>	0,56 $\pm$ 0,03 <sub>b</sub>	0,56 $\pm$ 0,03 <sub>b</sub>	-
	VVBF	<sup>A</sup> 0,50 $\pm$ 0,04	0,54 $\pm$ 0,02	0,54 $\pm$ 0,05	0,58 $\pm$ 0,04
Gomosidad (N)	ECO	9,88 $\pm$ 1,77	13,61 $\pm$ 2,31	14,20 $\pm$ 4,50	16,94 $\pm$ 5,94
	VVB	8,12 $\pm$ 0,97 <sub>a</sub>	9,66 $\pm$ 0,69 <sub>a</sub>	16,05 $\pm$ 1,60 <sub>b</sub>	-
	VVBF	10,93 $\pm$ 1,92 <sub>a</sub>	10,50 $\pm$ 1,23 <sub>a</sub>	16,69 $\pm$ 3,62 <sub>b</sub>	17,45 $\pm$ 1,35 <sub>b</sub>
Masticabilidad (N)	ECO	<sup>AB</sup> 6,70 $\pm$ 0,93	9,00 $\pm$ 1,82	9,47 $\pm$ 3,34	11,12 $\pm$ 3,59
	VVB	<sup>A</sup> 5,02 $\pm$ 0,89 <sub>a</sub>	6,15 $\pm$ 1,01 <sub>a</sub>	9,97 $\pm$ 0,97 <sub>b</sub>	-
	VVBF	<sup>B</sup> 7,84 $\pm$ 0,48 <sub>a</sub>	7,69 $\pm$ 1,44 <sub>a</sub>	11,23 $\pm$ 1,93 <sub>b</sub>	14,31 $\pm$ 0,47 <sub>b</sub>

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-c</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

Sin embargo, entre lotes, sólo se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) en el día 0, en el que el lote VVB presentó valores más bajos de dureza y masticabilidad. Como se indicó en el Estudio 2, la elaboración de lomo Sajonia con un extracto vegetal supuso la obtención de lomos menos duros en relación al lomo Sajonia elaborado con extracto vegetal y fosfatos. El hecho de que el

lomo Sajonia VVB presentara inicialmente valores más bajos en alguno de los parámetros de textura evaluados que aumentaron con el tiempo de almacenamiento podría explicar el no haber encontrado diferencias entre lotes en el resto de puntos de muestreo.

#### **5.4.6. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL CON UN PANEL DE CATADORES ENTRENADOS**

Las puntuaciones obtenidas en las pruebas de aceptación realizadas con el lomo Sajonia de los tres lotes experimentales almacenados bajo condiciones de oscuridad o de luz se muestran en las tablas 45 y 46, respectivamente. A lo largo del período de almacenamiento, todos los parámetros sensoriales evaluados disminuyeron ( $p < 0,05$ ), en los tres lotes, en ambas condiciones de conservación (luz y oscuridad).

Respecto al color, los resultados obtenidos podrían indicar que a lo largo del almacenamiento se produjo una decoloración del producto. De acuerdo con Estévez (2005) existe una correlación positiva entre la decoloración y la oxidación proteica de los productos cocidos. En este sentido, el que el comportamiento de este parámetro a lo largo del tiempo fuera diferente del observado en la evaluación instrumental, podría ser debido a que la evaluación del color con catadores se realizó sobre el lomo Sajonia una vez calentado. Este tratamiento térmico previo pudo acelerar la degradación de los nitrosopigmentos.

En cuanto al olor y al flavor (tablas 45 y 46), Samelis y col. (2000), Cabeza y col. (2007) y Núñez de González y col. (2009) observaron resultados similares a los obtenidos en este estudio, en jamón cocido, envasado al vacío y almacenado a 4°C, atribuyendo este comportamiento al desarrollo de olores y sabores desagradables debido al crecimiento de microorganismos como las bacterias ácido lácticas. En este estudio es posible que este hecho fuera la causa de que estos parámetros disminuyeran con el tiempo ya que se encontró una correlación negativa entre los recuentos de flora psicrotrofa y anaerobia con el flavor ( $r = -0,78$ ,  $p < 0,05$ ).

**Tabla 45.** Evolución de los parámetros sensoriales (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en oscuridad.

Lotes		Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Color	ECO	4,7 $\pm$ 0,0 <sub>c</sub>	4,2 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,6 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>	<sup>B</sup> 3,4 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
	VVB	4,7 $\pm$ 0,0 <sub>c</sub>	3,7 $\pm$ 0,5 <sub>b</sub>	3,3 $\pm$ 0,2 <sub>ab</sub>	<sup>A</sup> 2,6 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
	VVBF	4,5 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	3,7 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>	3,4 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>	<sup>AB</sup> 3,1 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>
Olor	ECO	<sup>B</sup> 4,8 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	4,2 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	3,5 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>	3,2 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
	VVB	<sup>A</sup> 4,5 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,7 $\pm$ 0,5 <sub>bc</sub>	3,1 $\pm$ 0,4 <sub>ab</sub>	2,8 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
	VVBF	<sup>A</sup> 4,5 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,9 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,4 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>	3,0 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
Flavor	ECO	<sup>B</sup> 4,9 $\pm$ 0,0 <sub>c</sub>	3,9 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,6 $\pm$ 0,4 <sub>ab</sub>	3,3 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>
	VVB	<sup>A</sup> 4,7 $\pm$ 0,0 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,6 <sub>bc</sub>	2,9 $\pm$ 0,5 <sub>ab</sub>	2,8 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
	VVBF	<sup>AB</sup> 4,8 $\pm$ 0,0 <sub>c</sub>	3,9 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	3,5 $\pm$ 0,2 <sub>ab</sub>	2,9 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>
Pastosidad	ECO	4,5 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,8 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>	<sup>AB</sup> 3,6 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>	3,3 $\pm$ 0,6 <sub>a</sub>
	VVB	4,6 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	<sup>A</sup> 3,2 $\pm$ 0,1 <sub>a</sub>	2,9 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
	VVBF	4,6 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,4 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 3,9 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,1 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
Jugosidad	ECO	<sup>A</sup> 4,3 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	3,4 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>	3,6 $\pm$ 0,2 <sub>ab</sub>	3,3 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>
	VVB	<sup>B</sup> 4,8 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,7 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,2 $\pm$ 0,2 <sub>ab</sub>	2,9 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>
	VVBF	<sup>AB</sup> 4,5 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	3,9 $\pm$ 0,6 <sub>ab</sub>	3,6 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>	3,2 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
Valoración general	ECO	4,7 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,6 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	3,1 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
	VVB	4,8 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,5 <sub>b</sub>	3,0 $\pm$ 0,3 <sub>ab</sub>	2,7 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
	VVBF	4,6 $\pm$ 0,2 <sub>c</sub>	3,9 $\pm$ 0,4 <sub>b</sub>	3,5 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	2,9 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>

Rango de valores en una escala de 5 puntos (1=inaceptable 2=malo 3=aceptable 4=bueno y 5=excelente).

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-c</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

**Tabla 46.** Evolución de los parámetros sensoriales (media  $\pm$  desviación estándar) de los diferentes lotes experimentales de lomo Sajonia durante su almacenamiento en luz.

	Lotes	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Color	ECO	4,7 $\pm$ 0,0 <sub>b</sub>	4,2 $\pm$ 0,3 <sub>ab</sub>	<sup>B</sup> 4,2 $\pm$ 0,3 <sub>ab</sub>	3,6 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
	VVB	4,7 $\pm$ 0,0 <sub>b</sub>	3,6 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>	<sup>A</sup> 3,6 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>	-
	VVBF	4,5 $\pm$ 0,3 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,3 <sub>bc</sub>	<sup>A</sup> 3,5 $\pm$ 0,2 <sub>ab</sub>	3,1 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>
Olor	ECO	<sup>B</sup> 4,8 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	4,3 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	3,9 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	2,9 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
	VVB	<sup>A</sup> 4,5 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	4,0 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,3 $\pm$ 0,5 <sub>a</sub>	-
	VVBF	<sup>A</sup> 4,5 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	4,1 $\pm$ 0,4 <sub>b</sub>	3,4 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>	2,9 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
Flavor	ECO	<sup>B</sup> 4,9 $\pm$ 0,0 <sub>c</sub>	3,9 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 3,9 $\pm$ 0,4 <sub>b</sub>	2,9 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>
	VVB	<sup>A</sup> 4,7 $\pm$ 0,0 <sub>b</sub>	3,9 $\pm$ 0,2 <sub>ab</sub>	<sup>A</sup> 3,2 $\pm$ 0,7 <sub>a</sub>	-
	VVBF	<sup>AB</sup> 4,8 $\pm$ 0,0 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,4 <sub>b</sub>	<sup>AB</sup> 3,4 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	2,9 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>
Pastosidad	ECO	4,5 $\pm$ 0,2 <sub>c</sub>	4,4 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 3,9 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	2,9 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
	VVB	4,6 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	4,2 $\pm$ 0,5 <sub>b</sub>	<sup>A</sup> 3,4 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>	-
	VVBF	4,6 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	<sup>AB</sup> 3,7 $\pm$ 0,4 <sub>ab</sub>	3,1 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>
Jugosidad	ECO	<sup>A</sup> 4,3 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	3,4 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>	3,7 $\pm$ 0,5 <sub>ab</sub>	2,9 $\pm$ 0,0 <sub>a</sub>
	VVB	<sup>B</sup> 4,8 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	3,7 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>	3,4 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>	-
	VVBF	<sup>AB</sup> 4,5 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,6 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	3,4 $\pm$ 0,1 <sub>ab</sub>	3,2 $\pm$ 0,3 <sub>a</sub>
Valoración general	ECO	4,7 $\pm$ 0,1 <sub>c</sub>	3,8 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	<sup>B</sup> 3,9 $\pm$ 0,3 <sub>b</sub>	2,9 $\pm$ 0,4 <sub>a</sub>
	VVB	4,8 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	3,9 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>	<sup>A</sup> 3,3 $\pm$ 0,6 <sub>a</sub>	-
	VVBF	4,6 $\pm$ 0,2 <sub>c</sub>	3,7 $\pm$ 0,2 <sub>b</sub>	<sup>AB</sup> 3,5 $\pm$ 0,1 <sub>b</sub>	2,9 $\pm$ 0,2 <sub>a</sub>

Rango de valores en una escala de 5 puntos (1=inaceptable 2=malo 3=aceptable 4=bueno y 5=excelente).

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican para cada parámetro diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes.

<sup>a-c</sup> Medias con diferentes letras en la misma fila indican para cada parámetro y lote diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a lo largo del almacenamiento.

En relación a la textura, en todos los lotes y condiciones de almacenamiento se observó un aumento de la pastosidad y una disminución de

la jugosidad a lo largo del tiempo. Como se ha indicado anteriormente, los fenómenos de oxidación proteica que se producen con el tiempo, pueden dar lugar a modificaciones en la solubilidad de las proteínas y por tanto en la textura del producto. En este sentido, es posible que estos cambios estructurales impliquen pérdidas del agua retenida lo que supondría modificaciones en la jugosidad y en la pastosidad del producto.

Por último, la disminución observada en la valoración general es lógica ya que ésta se valora en función de las puntuaciones en el resto de parámetros. También Kreyenschmidt y col. (2009) observaron este comportamiento cuando evaluaron en jamón cocido envasado, la calidad sensorial en función del color, olor y textura a lo largo de 33 días de almacenamiento.

Entre lotes, en el día 0, a pesar de que el lomo Sajonia elaborado con extracto vegetal presentó valores más bajos en el olor y más altos en la jugosidad ( $p < 0,05$ ), todos los lotes fueron evaluados con puntuaciones de 4-5 lo que indicó, de acuerdo con la escala utilizada, que eran buenos-excelentes. En el resto de puntos de muestreo, cuando el lomo Sajonia se conservó en oscuridad (tabla 45), se encontraron diferencias ( $p < 0,05$ ) en la pastosidad a los 14 días y en el color a los 21 días. El lomo Sajonia VVB presentó valores más bajos para estos parámetros. Cuando el lomo Sajonia se almacenó en luz (tabla 46) fue a los 14 días cuando se detectaron diferencias en el color ( $p < 0,05$ ) entre lotes. Además, en este día, también hubo diferencias en el flavor, la pastosidad y la valoración global. De nuevo, el lomo Sajonia VVB fue el que presentó valores más bajos para estos parámetros.

Estos resultados podrían indicar que en el lote VVB se pudo producir una mayor oxidación proteica a lo largo del almacenamiento, lo que coincidiría con los resultados de la evaluación instrumental de la textura. Además, este lote presentó los recuentos más altos de flora psicrotrofa y anaerobia a los 21 días de almacenamiento en oscuridad y a los 14 días de almacenamiento en luz. Este hecho podría explicar las diferencias entre lotes en la evaluación con catadores, ya que se encontraron correlaciones negativas entre los recuentos de

flora psicrotrofa y anaerobia con el flavor ( $r=-0,78$ ,  $p<0,05$ ), la pastosidad ( $r=-0,71$ ,  $p<0,05$ ) y la valoración global ( $r=-0,76$ ,  $p<0,05$ ).

Finalmente, considerando las puntuaciones dadas en la valoración general del lomo conservado en oscuridad y en luz, la vida útil del lomo Sajonia ECO y VVBF se podría establecer en 21 días. A este tiempo, el lomo Sajonia de estos lotes presentó valores próximos al límite de aceptabilidad (valor de 3). Por el contrario, el lomo Sajonia del lote VVB, a los 21 días, fue evaluado con puntuaciones inferiores a este límite. Por ello, su tiempo de vida útil desde el punto de vista sensorial estaría comprendido entre los 14-21 días de almacenamiento. Por tanto, se podría decir que el hecho de elaborar lomo Sajonia con un extracto vegetal utilizando únicamente como antioxidante un extracto de vino blanco supuso un acortamiento de la vida útil del producto.

#### **5.4.7. RESUMEN**

La elaboración de lomo Sajonia con un extracto vegetal no implicó cambios en la evolución de los recuentos microbiológicos, del pH, de la  $a_w$  y de la oxidación lipídica durante el almacenamiento en oscuridad o en luz, respecto al producto elaborado con nitritos. Los resultados obtenidos en la evaluación instrumental del color pusieron de manifiesto su estabilidad a lo largo del tiempo en los tres lotes, a pesar de que se detectaron algunas diferencias puntuales entre ellos. Por el contrario, en la textura evaluada instrumentalmente se observó que la utilización de un extracto vegetal sólo permitía mejorar la estabilidad de la textura durante el almacenamiento cuando además de un antioxidante natural se utilizaban fosfatos. Este comportamiento también se verificó en la evaluación sensorial realizada con catadores, en la que se estableció que el lote elaborado con nitritos y el elaborado con un extracto vegetal y fosfatos eran aceptables durante 21 días y el elaborado con un extracto vegetal y sin fosfatos durante 14-21 días. No obstante, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la evaluación microbiológica, la vida útil de todos los lotes evaluados se estableció en 14 días tanto cuando son almacenados en oscuridad como en luz.

## 5.5. ESTUDIO 5: EVALUACIÓN DE DIFERENTES ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA VIDA ÚTIL DE LOS LOTES EXPERIMENTALES DE LOMO SAJONIA

Para conseguir el objetivo planteado en este estudio, en el lomo Sajonia elaborado con las tres formulaciones experimentales del Estudio 4 (ECO, VVB y VVBF) se evaluaron los siguientes tratamientos:

**Tratamiento V:** envasado al vacío (grupo control).

**Tratamiento PV:** aplicación de un recubrimiento comestible de polisacáridos y envasado al vacío.

**Tratamiento PRoV:** aplicación de un recubrimiento comestible de polisacáridos al que se le incorporó como antimicrobiano un extracto de romero y envasado al vacío.

**Tratamiento PRoPV:** aplicación de un recubrimiento comestible de polisacáridos al que se le incorporó como antimicrobiano una mezcla de extracto de romero y de *Pediococcus acidilactici* y envasado al vacío.

El lomo Sajonia de cada formulación y tratamiento se almacenó en refrigeración (2°C) en un mural expositor, evaluándose el efecto de la formulación, del tratamiento aplicado y del tiempo de almacenamiento (0, 7, 14 y 21 días) sobre parámetros microbiológicos (recuentos de flora psicrotrofa, de flora anaerobia, de enterobacterias, de pseudomonas, de BAL y de mohos y levaduras), físico-químicos (pH,  $a_w$ , color y textura medidos de forma instrumental) y sensoriales (prueba de aceptación).

### 5.5.1. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

En la tabla 47 se muestran los efectos principales y sus interacciones en los diferentes parámetros microbiológicos analizados. Puede observarse que la **formulación** afectó de forma significativa a todos los microorganismos analizados excepto a las BAL. En general, los recuentos fueron más bajos ( $p < 0,05$ ) en el lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal (VVB y VVBF)

## Resultados y Discusión

excepto para los de mohos y levaduras (tabla 48). En este caso, el lomo Sajonia VVBF fue el que presentó valores más bajos ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 47.** Efecto de la formulación (A- ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características microbiológicas del lomo Sajonia.

	Flora psicrotrofa	Flora anaerobia	Enterobacterias	Pseudomonas	BAL	Mohos y levaduras
<b>EFFECTOS</b>						
<b>A</b>	5,88**	4,24*	8,45***	59,35***	0,85	4,51*
<b>B</b>	1,43	0,91	1,43	0,30	0,81	0,63
<b>C</b>	92,70***	37,00***	4,67**	4,43**	84,01***	106,28***
<b>INTERACCIONES</b>						
<b>AxB</b>	2,02	1,71	0,97	0,40	2,05	0,87
<b>AxC</b>	0,71	0,46	0,48	4,22**	0,16	2,08
<b>CxB</b>	0,94	1,28	0,67	0,66	0,81	1,16
<b>AxBxC</b>	0,88	0,71	0,69	0,45	1,05	0,58

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

La menor cantidad de nitrito residual en el producto elaborado con este aditivo (según los datos obtenidos en los Estudios 2 y 3), pudo ser la causa de que el lomo Sajonia del lote ECO presentara recuentos más altos que los de los lotes elaborados con extracto vegetal. Respecto a los mohos y levaduras, el lote VVBF presentó menor recuento que el lote VVB, posiblemente debido a la presencia de fosfatos en este lote.

Los recuentos de anaerobios, de psicrotrofos, de enterobacterias, de pseudomonas y de BAL en las muestras a las que se les había aplicado el tratamiento PV fueron los más altos y los de los tratamientos PRoV y PRoPV los más bajos (tabla 48). Sin embargo, en ningún caso, las diferencias debidas al **tratamiento** fueron estadísticamente significativas (tabla 47). Cuando al lomo Sajonia se le incorporó únicamente el recubrimiento, pudo aumentar el agua de la superficie del lomo, lo que favoreció el crecimiento de los microorganismos. Cuando se adicionaron los diferentes antimicrobianos utilizados en el estudio (extracto de romero o extracto de romero y *Pediococcus acidilactici*) este efecto se

pudo ver compensado. Por otro lado, el hecho de no encontrar diferencias en los recuentos de BAL entre el tratamiento que incluía *Pediococcus acidilactici* y el resto de tratamientos indicaría que la concentración añadida de este microorganismo fue pequeña.

**Tabla 48.** Resultados obtenidos (log ufc/g) en los microorganismos analizados en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C.

	Flora psicrotrofa	Flora anaerobia	Enterobacterias	Pseudomonas	BAL	Mohos y levaduras
<b>FORMULACIÓN</b>						
<b>ECO</b>	B4,99	B4,49	B3,02	B3,68	4,39	AB3,51
<b>VVB</b>	A4,07	B3,35	A1,94	A2,09	4,01	B3,79
<b>VVBF</b>	A4,36	AB3,92	A1,53	A2,00	4,27	A3,22
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	0,19	0,28	0,26	0,12	0,21	0,13
<b>TRATAMIENTO</b>						
<b>V</b>	4,36	3,81	2,35	2,66	4,10	3,49
<b>PV</b>	4,87	4,36	2,58	2,65	4,51	3,56
<b>PRoV</b>	4,37	3,80	1,80	2,52	4,02	3,64
<b>PRoPV</b>	4,29	3,69	1,92	2,53	4,27	3,35
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	0,22	0,32	0,30	0,14	0,24	0,15
<b>DÍAS</b>						
<b>0</b>	A1,63	A1,59	A1,47	A2,17	A1,34	A1,23
<b>7</b>	B4,04	B3,14	AB1,81	B2,73	B3,66	B3,65
<b>14</b>	C5,76	C4,99	BC2,41	B2,62	C5,66	C4,43
<b>21</b>	D6,46	D5,95	C2,95	B2,85	C6,25	C4,71
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	0,22	0,32	0,30	0,14	0,24	0,15

A-D Medias con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones, tratamientos o días de almacenamiento ( $p < 0,05$ ).

En relación a la utilización del romero como antimicrobiano, Camo y col. (2008) observaron una disminución de la flora psicrotrofa a lo largo de 8 días de almacenamiento, cuando adicionaron un extracto de romero directamente sobre la superficie de carne de cordero. Sin embargo, Seydim y

Sarikus (2006) en ensayos *in vitro* sobre bacterias Gram + y Gram –, no encontraron efecto alguno cuando incorporaron diferentes concentraciones de aceite esencial de romero a películas de aislados de proteína de suero. Tampoco Ponce y col. (2008) encontraron actividad antimicrobiana de una oleorresina de romero cuando la incorporaron a un recubrimiento de quitosano. Estos autores indicaron que este hecho pudo deberse a que los compuestos antibacterianos de las oleorresinas se dispersaron en el recubrimiento de modo que las células bacterianas estaban menos expuestas a su acción.

Por otro lado, al igual que en nuestro estudio, Olaoye y Dodd (2010) observaron, en pinchos de carne cocinados e inoculados con *Pediococcus acidilactici*, recuentos de mohos y levaduras más bajos en las muestras inoculadas aunque las diferencias no fueron significativas. Sin embargo, sí obtuvieron recuentos de flora aerobia mesófila significativamente más bajos cuando inocularon este microorganismo, debido a los compuestos antimicrobianos producidos por esta bacteria. Es preciso indicar que estos autores utilizaron un inóculo de aproximadamente 6 log ufc/g y lo aplicaron directamente sobre el producto.

La baja efectividad de los antimicrobianos empleados en nuestro estudio podría indicar que la cantidad utilizada no fue suficiente o que pudieron existir interacciones entre los constituyentes del recubrimiento y los agentes activos de los mismos. En este sentido, diversos autores han señalado que el efecto que ejercen estos compuestos sobre la matriz cárnica depende de las propiedades intrínsecas del propio antimicrobiano, de las concentraciones utilizadas y de la capacidad de difusión de éstos hacia la matriz cárnica (Brody y col., 2001; Durango y col., 2006; Sánchez-González y col., 2011). También se ha indicado que las características de la matriz como el pH, el contenido en proteínas, el contenido de azúcares, etc. influyen sobre la capacidad antimicrobiana (Gutiérrez y col., 2009).

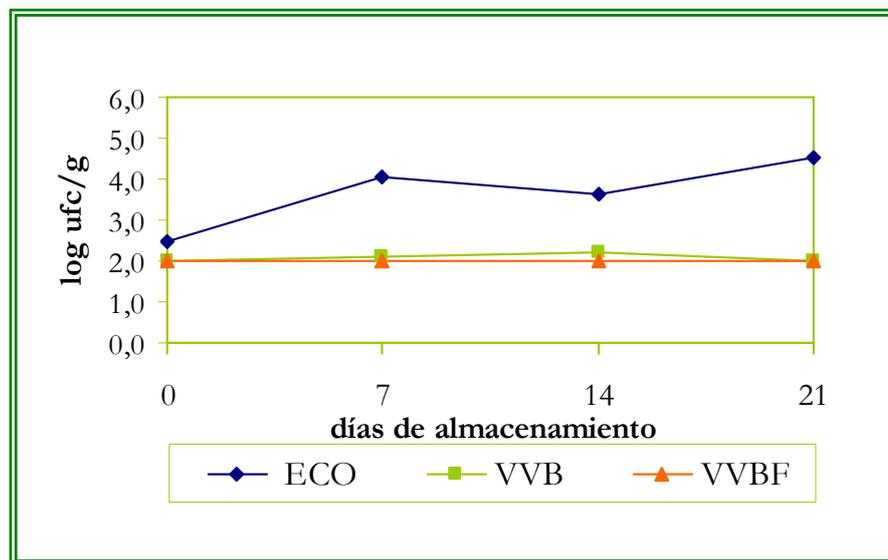
El **tiempo de almacenamiento** afectó a todos los grupos de microorganismos estudiados (tabla 47) y en todos ellos se observó un aumento ( $p < 0,05$ ) de los recuentos a lo largo del tiempo (tabla 48), siendo la flora mayoritaria las BAL. Al igual que en nuestro estudio, Olaoye y Dodd (2010)

observaron un aumento de los recuentos de BAL en los primeros días de almacenamiento tanto en las muestras inoculadas con *Pediococcus acidilactici* como en las no inoculadas que permanecieron posteriormente constantes. Diversos autores han indicado que las BAL son el principal grupo bacteriano de los productos cárnicos cocidos envasados al vacío y refrigerados (Pexara y col., 2002; Mataragas y col., 2006). La presencia de nitritos, bajos niveles residuales de oxígeno debido al envasado al vacío y bajas temperaturas de almacenamiento crean un ambiente propicio para el crecimiento de las BAL (von Holy y col., 1991; Mataragas y col., 2006).

El resto de microorganismos presentaron recuentos más bajos durante todo el tiempo de almacenamiento. Estos resultados estarían en la línea de los encontrados por Wang y col. (2004) que mostraron que la incidencia de los microorganismos responsables del deterioro en alas de pollo cocidas era de un 15% de cocos Gram -, un 49% de bacilos Gram +, un 23% de bacilos Gram - y un 13% de levaduras.

En relación a las **interacciones** (tabla 47), sólo se observó efecto ( $p < 0,05$ ) de la formulación con el tiempo de almacenamiento sobre pseudomonas ( $p < 0,01$ ). La evolución de los recuentos de pseudomonas a lo largo del tiempo para las diferentes formulaciones se muestra en la figura 31.

Puede observarse que para este microorganismo los recuentos a lo largo del tiempo aumentaron en el lomo Sajonia del lote ECO lo que determinó que se encontraran diferencias entre éste y los otros dos lotes. Se ha indicado que el nitrito residual ejerce un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa* (Stanojevic y col., 2009). Este hecho pudo ser el responsable de los resultados obtenidos en nuestro estudio, ya que, como se ha indicado anteriormente, el lomo Sajonia del lote ECO presentó un menor contenido de nitritos residuales que el lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal.



**Figura 31.** Evolución de los recuentos de pseudomonas obtenidos en los diferentes lotes de lomo Sajonia elaborados (ECO, VVB, VVBF), a lo largo del almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C.

### 5.5.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL pH Y DE LA AW

Los resultados obtenidos para el pH y la  $a_w$  se muestran en las tablas 49 y 50.

El pH no se vió afectado ( $p > 0,05$ ) ni por la formulación ni por el tratamiento aplicado ni por el tiempo de almacenamiento (tabla 49). Teniendo en cuenta que los recuentos de BAL aumentaron a lo largo del tiempo, cabría esperar una disminución del pH debida tanto al tratamiento aplicado como al tiempo de almacenamiento.

Vermeiren y col. (2004) observaron en lonchas de jamón cocido inoculadas con cepas de BAL homofermentativas y envasadas al vacío, que el pH disminuía mientras que en las no inoculadas se mantenía constante a lo largo del almacenamiento. Estos autores indicaron que la disminución del pH debida a la presencia de BAL depende del tipo de cepa y del nivel de glucosa del producto.

**Tabla 49.** Efecto de la formulación (A- ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características físico-químicas del lomo Sajonia.

	pH	a <sub>w</sub>	L*	a*	b*
<b>EFFECTOS</b>					
<b>A</b>	0,69	15,15***	15,70***	0,55	9,66***
<b>B</b>	1,27	1,69	3,84*	0,62	31,37***
<b>C</b>	2,09	1,19	6,92***	7,46***	1,49
<b>INTERACCIONES</b>					
<b>A x B</b>	0,52	0,51	3,23**	2,02	0,13
<b>A x C</b>	0,20	0,48	0,30	0,47	0,42
<b>C x B</b>	0,44	0,45	1,52	2,00	0,91
<b>A x B x C</b>	0,35	0,63	0,85	0,87	0,64

\* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001.

Olaoye y Dodd (2010) observaron una mayor disminución del pH con el tiempo de almacenamiento en pinchos de carne cocinados inoculados con *Pediococcus acidilactici* que en los no inoculados, lo que atribuyeron a la presencia de ácidos orgánicos producidos por este microorganismo. Vásquez y col. (2009) apuntaron que el efecto antimicrobiano de las BAL se fundamenta, principalmente, en la acción complementaria del pH y de los ácidos orgánicos.

En este estudio, tanto la ausencia de diferencias en el pH por el tratamiento aplicado, como la estabilidad del pH a lo largo del tiempo podrían indicar que la cantidad de ácidos orgánicos producidos por las BAL fue pequeña debido a que, posiblemente, el lomo Sajonia presentó un bajo nivel de glucosa y a que las BAL presentes en el producto presentaban baja velocidad de acidificación.

Para la a<sub>w</sub> no se detectó efecto ni del tratamiento aplicado, ni del tiempo de almacenamiento, aunque sí se observó que la formulación afectaba a este parámetro (p<0,001) (tabla 49). Al igual que en los resultados obtenidos en estudios anteriores, el lomo Sajonia ECO presentó valores de a<sub>w</sub> más altos (p<0,05) que el lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal (tabla 50)

## Resultados y Discusión

posiblemente debido a la diferente concentración de solutos presente en las salmueras utilizadas para su elaboración.

**Tabla 50.** Resultados obtenidos la evaluación del pH, la  $a_w$  y el color en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C.

	pH	$a_w$	L*	a*	b*
<b>FORMULACIÓN</b>					
ECO	5,95	<sup>B</sup> 0,980	<sup>C</sup> 73,15	5,59	<sup>A</sup> 9,67
VVB	5,94	<sup>A</sup> 0,977	<sup>B</sup> 71,65	5,78	<sup>B</sup> 10,40
VVBF	5,96	<sup>A</sup> 0,977	<sup>A</sup> 69,78	5,68	<sup>B</sup> 10,43
LSD <sub>0,05</sub>	0,03	0,001	0,42	0,13	0,14
<b>TRATAMIENTO</b>					
V	5,94	0,979	<sup>B</sup> 72,72	5,62	<sup>A</sup> 9,35
PV	5,98	0,979	<sup>AB</sup> 71,90	5,77	<sup>A</sup> 9,46
PRoV	5,95	0,977	<sup>A</sup> 70,64	5,79	<sup>B</sup> 11,08
PRoPV	5,94	0,978	<sup>A</sup> 70,86	5,55	<sup>B</sup> 10,78
LSD <sub>0,05</sub>	0,03	0,001	0,49	0,14	0,16
<b>DÍAS</b>					
0	5,93	0,978	<sup>A</sup> 70,36	<sup>A</sup> 5,38	10,30
7	5,94	0,977	<sup>A</sup> 71,70	<sup>A</sup> 5,38	10,33
14	5,99	0,979	<sup>A</sup> 70,78	<sup>B</sup> 6,21	10,12
21	5,94	0,978	<sup>B</sup> 73,28	<sup>A</sup> 5,77	9,91
LSD <sub>0,05</sub>	0,03	0,001	0,49	0,14	0,16

A-B Medias con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones, tratamientos ó días de almacenamiento ( $p < 0,05$ ).

Finalmente, indicar que las interacciones no implicaron efecto significativo ni sobre el pH ni sobre la  $a_w$ .

### **5.5.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL COLOR MEDIDOS DE FORMA INSTRUMENTAL**

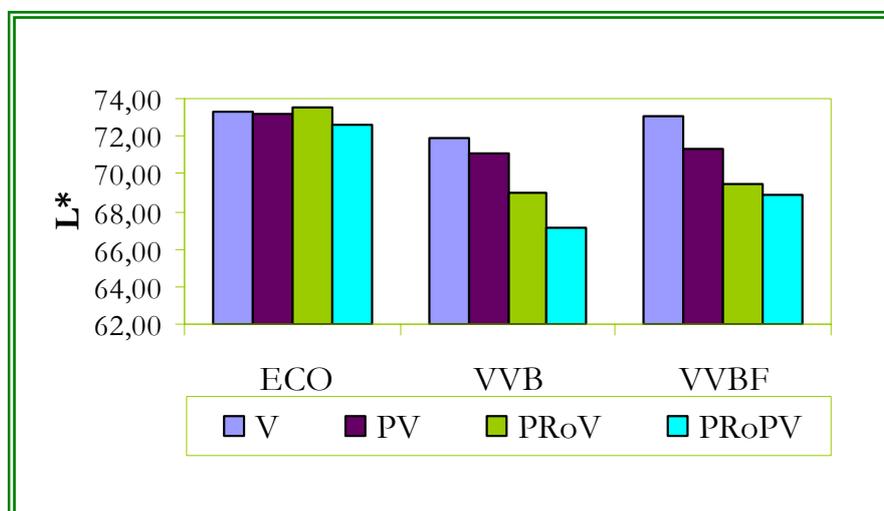
Los resultados obtenidos para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se incluyen en las tablas 49 y 50 (incluidas en el apartado anterior).

En la **luminosidad** se obtuvo efecto de las tres variables evaluadas (tipo de formulación, tratamiento y días). Se detectaron diferencias entre las tres formulaciones estudiadas (tabla 50), siendo el lomo Sajonia ECO el que presentó mayor  $L^*$  ( $p < 0,05$ ) y el lomo Sajonia VVBF el que presentó menor valor para este parámetro ( $p < 0,05$ ). Posiblemente, estos resultados se debieron a que el lote ECO fue el que presentó el mayor valor de  $a_w$ . De acuerdo con Hunt y Kroft (1985) y con Fernández-López y col. (2004), la luminosidad de un alimento es mayor cuanto mayor es su contenido en agua libre. Por otro lado, el menor  $L^*$  observado en el lomo Sajonia VVBF pudo ser debido a que, la utilización de fosfatos da lugar a una disminución del agua en la superficie y, consecuentemente, a un menor valor de  $L^*$ , como ha sido indicado por Fernández-López y col. (2004).

En cuanto al tratamiento, el lomo Sajonia con tratamiento V, que sólo fue envasado al vacío, presentó mayor luminosidad que los lotes con tratamiento PRoV y PRoPV. La inclusión de extracto de romero en estos lotes pudo ser la causa de estas diferencias. Hernández-Hernández y col. (2009) observaron una menor luminosidad en un preparado de carne al añadir un extracto de romero lo que atribuyeron a su acción antioxidante.

A lo largo del almacenamiento, la luminosidad aumentó ( $p < 0,05$ ). Dicho aumento ha sido también observado por otros autores en carne y productos cárnicos envasados al vacío durante su almacenamiento en refrigeración (Kusmider y col., 2002; Fernández-López y col., 2006; Fernández-López y col., 2008).

Respecto a las interacciones, se encontró un efecto significativo ( $p < 0,01$ ) de la formulación con el tratamiento aplicado (tabla 49). En la figura 32 puede observarse que el lomo Sajonia ECO no presentó valores diferentes de luminosidad ( $p > 0,05$ ) en función del tratamiento aplicado.



**Figura 32.** Resultados obtenidos para la luminosidad ( $L^*$ ) en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV).

Sin embargo, cuando en la formulación se incluyó un extracto vegetal (VVB y VVBF) y se aplicó un recubrimiento con extracto de romero (tratamiento PRoV) o con extracto de romero y *Pediococcus acidilactici* (tratamiento PRoPV) se obtuvo un menor  $L^*$ . Como se indicó en el Estudio 2 la incorporación de compuestos naturales puede dar lugar a una disminución de la luminosidad.

En el  $a^*$ , no se encontró efecto ( $p > 0,05$ ) ni de la formulación ni del tratamiento aplicado. Sin embargo, sí se detectaron diferencias ( $p < 0,001$ ) debidas al tiempo de almacenamiento, aunque éstas no permitieron establecer una tendencia. Como se indicó en el Estudio 4, probablemente, el tipo de envasado al vacío utilizado impidió la decoloración del lomo Sajonia con el tiempo de almacenamiento. De acuerdo con Filgueras y col. (2010), el envasado al vacío es una estrategia efectiva para proteger a las proteínas cárnicas del daño oxidativo. En relación al efecto de la formulación y del tratamiento aplicado, los resultados obtenidos indican que los antioxidantes utilizados no afectaron a la oxidación de las proteínas responsables del color durante el almacenamiento del lomo Sajonia, a diferencia de los resultados

indicados por otros autores. Camo y col. (2008), en carne de cordero envasada, observaron un efecto antioxidante al aplicar un extracto de romero directamente en su superficie ya que presentaba mayores valores de  $a^*$  que la control a partir de los 11 días de almacenamiento en un expositor a 1°C. Estévez y col. (2005, 2006) cuando evaluaron el efecto del aceite esencial de romero en diferentes tipos de salchichas cocidas observaron efectos positivos (antioxidante) o negativos (pro-oxidante) sobre las proteínas cárnicas a los 60 días de almacenamiento. Estos autores indicaron que el efecto de los compuestos fenólicos presentes en el aceite esencial de romero puede estar influenciado por la composición química del alimento y por la presencia de otras sustancias activas.

Finalmente, en cuanto al  $b^*$ , tanto la formulación como el tratamiento aplicado tuvieron efecto significativo sobre este parámetro (tabla 49). El lomo Sajonia VVB y el VVBF presentaron mayor valor de  $b^*$  que el lomo Sajonia ECO (tabla 50). En cuanto al tratamiento aplicado, el lomo Sajonia al que se aplicó los tratamientos PRoV o PRoPV presentó mayor valor de  $b^*$  que aquel al que se le aplicó el tratamiento V o PV (tabla 50). En los Estudios 2, 3 y 4 también se observó que la adición de determinados ingredientes naturales en la elaboración del lomo Sajonia podía provocar cambios en los valores de  $b^*$ .

#### **5.5.4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN INSTRUMENTAL DE LA TEXTURA**

En las tablas 51 y 52 se muestran los resultados obtenidos para los parámetros de textura medidos de forma instrumental.

Como puede observarse en la tabla 51, solamente la **formulación** tuvo efecto significativo sobre los parámetros de textura evaluados. En general, el lomo Sajonia del lote ECO presentó menor dureza, masticabilidad y gomosidad ( $p < 0,05$ ) (tabla 52). Los resultados microbiológicos obtenidos en este estudio (tabla 48) podrían justificar este resultado ya que el lote ECO fue el que presentó mayores recuentos.

Por otro lado, la ausencia de efecto debido al **tratamiento** aplicado y al **tiempo de almacenamiento** indicaría que la aplicación de los diferentes tipos de recubrimientos no modifican las propiedades de textura del lomo Sajonia a lo largo de su almacenamiento en refrigeración.

## Resultados y Discusión

**Tabla 51.** Efecto de la formulación (A- ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características de textura del lomo Sajonia.

	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad	Gomosidad
<b>EFFECTOS</b>					
<b>A</b>	6,14**	3,68*	3,02*	18,20***	3,32*
<b>B</b>	0,70	0,62	0,36	2,72	0,91
<b>C</b>	0,65	0,96	1,06	1,18	1,18
<b>INTERACCIONES</b>					
<b>A x B</b>	0,83	0,96	0,72	0,86	0,84
<b>A x C</b>	0,27	0,63	0,29	0,43	0,27
<b>C x B</b>	0,90	1,01	0,70	1,00	0,82
<b>AxBxC</b>	0,31	0,87	0,40	0,73	0,31

\* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001.

**Tabla 52.** Resultados obtenidos en la evaluación instrumental de la textura en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C.

	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad	Gomosidad
<b>FORMULACIÓN</b>					
<b>ECO</b>	<sup>A</sup> 28,08	<sup>A</sup> 0,75	<sup>B</sup> 0,55	<sup>A</sup> 11,49	<sup>A</sup> 15,37
<b>VVB</b>	<sup>B</sup> 33,77	<sup>A</sup> 0,74	<sup>AB</sup> 0,54	<sup>B</sup> 13,51	<sup>B</sup> 18,30
<b>VVBF</b>	<sup>B</sup> 32,23	<sup>B</sup> 0,81	<sup>A</sup> 0,51	<sup>B</sup> 13,29	<sup>AB</sup> 16,41
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	1,19	0,01	0,01	0,63	0,82
<b>TRATAMIENTO</b>					
<b>V</b>	32,75	0,75	0,55	13,32	17,94
<b>PV</b>	30,50	0,76	0,53	12,38	16,23
<b>PRoV</b>	30,33	0,78	0,53	12,44	15,88
<b>PRoPV</b>	31,87	0,77	0,52	12,92	16,72
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	1,37	0,01	0,01	0,72	0,91
<b>DÍAS</b>					
<b>0</b>	31,39	0,78	0,54	13,04	16,58
<b>7</b>	29,90	0,77	0,52	11,69	15,39
<b>14</b>	32,57	0,76	0,54	13,38	17,75
<b>21</b>	31,58	0,76	0,54	12,93	17,39
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	1,37	0,01	0,01	0,72	0,91

<sup>A-B</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones, tratamientos o días de almacenamiento (p<0,05).

### 5.5.5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA CON UN PANEL DE CATADORES ENTRENADOS

Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de los diferentes tipos de lomo Sajonia se muestran en las tablas 53 y 54.

La **formulación** tuvo un efecto significativo en todos los parámetros sensoriales excepto en el flavor (tabla 53). El lomo Sajonia ECO presentó valores más altos ( $p < 0,05$ ) en el color y en el olor y el lomo Sajonia VVBF en la jugosidad y en la pastosidad (tabla 54). Sin embargo, estas diferencias entre lotes no permitieron establecer una tendencia clara en cuanto a la valoración global que fue puntuada entre 3,8 y 4,0 y, por tanto, como buena.

**Tabla 53.** Efecto de la formulación (A- ECO, VVB, VVBF), del tratamiento aplicado (B- V, PV, PRoV, PRoPV) y del tiempo de almacenamiento (C- 0, 7, 14, 21 días) sobre las características sensoriales del lomo Sajonia.

	Color	Olor	Flavor	Pastosidad	Jugosidad	Valoración
<b>Efectos</b>						
<b>A</b>	12,35***	3,24*	1,50	12,34***	9,29***	4,35*
<b>B</b>	3,30*	1,40	1,24	0,92	0,16	0,29
<b>C</b>	80,93***	61,38***	97,76***	60,78***	83,88***	94,89***
<b>Interacciones</b>						
<b>A x B</b>	0,46	0,40	0,70	1,22	0,92	0,48
<b>A x C</b>	0,50	0,36	0,92	0,23	0,16	0,53
<b>C x B</b>	0,85	0,23	0,33	0,66	0,49	0,13
<b>AxBxC</b>	0,60	0,21	0,36	0,52	0,50	0,25

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

En cuanto al **tratamiento** aplicado, sólo se observó efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre el color (tabla 53). El lomo Sajonia con menor puntuación en este parámetro ( $p < 0,05$ ) fue el de los tratamientos PRoV y PRoPV (tabla 54). También en la evaluación instrumental del color, estos lomos fueron los que presentaron menor luminosidad y mayor índice de amarillo. Sin embargo, este efecto no fue muy marcado ya que en todos los casos se obtuvieron valores para el color entre 4,0 y 4,3 lo que supuso la calificación del producto como

## Resultados y Discusión

bueno. Además, estas diferencias no afectaron a la valoración global del producto.

**Tabla 54.** Resultados obtenidos la evaluación de los parámetros sensoriales medidos en los diferentes tipos de lomo Sajonia (ECO, VVB, VVBF), con diferentes tratamientos aplicados (V, PV, PRoV, PRoPV) durante su almacenamiento (0, 7, 14, 21 días) a 2°C.

	Color	Olor	Flavor	Pastosidad	Jugosidad	Valoración
<b>Formulación</b>						
<b>ECO</b>	B4,3	B4,2	4,0	A3,9	A3,6	AB3,9
<b>VVB</b>	A4,0	A4,0	3,9	A3,9	A3,7	A3,8
<b>VVBF</b>	A4,1	AB4,0	4,0	B4,2	B4,1	B4,0
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,04
<b>Tratamiento</b>						
<b>V</b>	B4,3	4,1	4,1	4,0	3,7	4,0
<b>PV</b>	B4,2	4,2	4,0	4,00	3,8	4,0
<b>PRoV</b>	A4,1	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9
<b>PRoPV</b>	A4,0	4,0	3,9	4,0	3,8	3,9
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,05
<b>Días</b>						
<b>0</b>	D4,7	D4,6	D4,7	D4,6	D4,4	D4,5
<b>7</b>	C4,4	C4,4	C4,3	C4,3	C4,1	C4,2
<b>14</b>	B4,0	B3,9	B3,9	B3,8	B3,6	B3,8
<b>21</b>	A3,5	A3,3	A3,1	A3,3	A3,1	A3,1
<b>LSD<sub>0,05</sub></b>	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,05

Rango de valores en una escala de 5 puntos (1=inaceptable. 2=malo. 3=aceptable. 4=bueno y 5=excelente).

<sup>A-D</sup> Medias con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre formulaciones, tratamientos o días de almacenamiento ( $p < 0,05$ ).

Ponce y col. (2008) indicaron que el uso de recubrimientos enriquecidos con romero no implicaba un efecto negativo sobre la aceptabilidad sensorial en alimentos mínimamente procesados. En cuanto al uso de BAL, Vermeiren y col. (2004) indicaron que la inoculación de jamón cocido con estos microorganismos no tenía influencia en la apariencia general del producto. En

nuestro estudio, como se indicó en Material y Métodos, las concentraciones de los antimicrobianos utilizados fueron establecidas en base a ensayos sensoriales previos. Dado que se seleccionaron aquellas concentraciones que no implicaban modificaciones en las características organolépticas del producto, los resultados obtenidos son los esperados.

Finalmente, el **tiempo de almacenamiento** tuvo un marcado efecto sobre los parámetros sensoriales evaluados (tabla 53). En general, los valores obtenidos en todos los parámetros disminuyeron ( $p < 0,05$ ) de forma gradual durante el periodo de almacenamiento (tabla 54). En el día 21, todas las puntuaciones fueron próximas al límite de aceptabilidad (3 puntos) debido, principalmente, a la aparición de olores y sabores de deterioro de acuerdo con las indicaciones de los catadores. Teniendo en cuenta los resultados microbiológicos (tabla 48) en este día, los recuentos de flora psicrotrofa, principalmente de BAL, eran próximos a 7 log ufc/g. La actividad metabólica de las BAL puede provocar olores y/o sabores ácidos y agrios que contribuyen al deterioro de los productos cárnicos cocidos envasados al vacío y refrigerados (Samelis y col., 2000). Vermeiren y col. (2004) tanto en jamón cocido inoculado con BAL homofermentativas como en el no inoculado observaron que cuando las muestras eran rechazadas por los catadores, presentaban recuentos de BAL de 7,4-8,2 log ufc/g. Generalmente, las BAL homofermentativas que se añaden a los productos cárnicos para inhibir patógenos y/o aumentar la vida útil, no modifican las propiedades sensoriales (Lücke, 2000b). Sin embargo, en condiciones limitantes como un nivel de glucosa insuficiente, se puede producir un cambio de metabolismo homofermentativo a metabolismo heterofermentativo, durante el crecimiento en anaerobiosis dando como resultado la formación de acetato y etanol (Borch y col., 1991).

#### **5.5.6. RESUMEN**

Los resultados obtenidos en los parámetros microbiológicos evaluados pusieron de manifiesto el efecto de la formulación y del tiempo de almacenamiento. La inclusión de antimicrobianos en los tratamientos aplicados no implicó una mejora de la calidad microbiológica del lomo Sajonia. Esto

podría ser debido tanto a que la cantidad utilizada de estos compuestos no fue suficiente como a que pudieron existir interacciones entre los constituyentes del recubrimiento y los agentes activos de los mismos que disminuyeron su efectividad. En las características físico-químicas y sensoriales, las principales diferencias fueron debidas a la formulación y al tiempo de almacenamiento, no observándose un efecto destacable del tratamiento. En este sentido, estos resultados son positivos desde el punto de vista de la viabilidad de la aplicación de los tratamientos con antimicrobianos pero negativos desde el punto de vista de la efectividad ya que no permitieron aumentar la vida útil del lomo Sajonia. Por tanto, para aumentar la eficacia de estos antimicrobianos sin afectar a la aceptabilidad sensorial del lomo Sajonia, sería conveniente la mejora de los recubrimientos utilizados de modo que se pueda incrementar las concentraciones de estos compuestos y su actividad.

---

## **VI. CONCLUSIONES**

---



## **6.1. CONCLUSIONES**

1. En la elaboración de lomo Sajonia ecológico, el aumento de la velocidad a la que se lleva a cabo el trabajo mecánico durante el masajeado permitió obtener un lomo Sajonia con mayor rendimiento, mayor porcentaje de humedad, menor dureza y mayor cohesividad. Por el contrario, el aumento del tiempo de reposo no implicó mejora alguna
2. La utilización de concentraciones bajas de nitritos (80 ppm) en la elaboración de lomo Sajonia ecológico junto con un masajeado llevado a cabo a una velocidad de 8 rpm y una etapa de reposo de 21 h, permitió obtener lomo Sajonia con unas características físico-químicas adecuadas y similares a las obtenidas para un producto comercial (elaborado con mayor cantidad de nitritos).
3. El uso de un extracto vegetal (1,32%) como alternativa a la adición de nitritos en la elaboración de lomo Sajonia no modificó las características tecnológicas de este producto y dio lugar a un producto cárnico con características similares a las del producto comercial y, excepto en el contenido en nitritos residuales, a las del elaborado según la legislación que regula la producción ecológica.
4. En la elaboración de lomo Sajonia, la reducción de la concentración de extracto vegetal hasta un 0,48% permitió disminuir los niveles de nitrito residual hasta valores próximos a lo establecido en la legislación que regula la producción ecológica. Sin embargo, en la evaluación sensorial, los catadores indicaron claramente su preferencia por el lote elaborado con la mayor concentración (1,32%).
5. La utilización de diferentes tipos (extracto de vino blanco; extracto de romero, salvia y orégano) y concentraciones (0,60, 1,80%) de antioxidantes naturales aunque no implicó diferencias ni en los parámetros tecnológicos, ni en el pH, ni en el color (evaluado de forma instrumental) del lomo Sajonia elaborado con un extracto vegetal, no

- permitió disminuir los valores de nitrito residual para que el producto fuera clasificado como ecológico.
6. La utilización de un 0,60% de extracto de vino blanco como antioxidante natural en la elaboración lomo Sajonia con un extracto vegetal dio lugar a un producto de color rosado más intenso y homogéneo, lo que implicó que, en la evaluación sensorial, fuera preferido por los catadores.
  7. La elaboración de lomo Sajonia con un extracto vegetal y un antioxidante natural (0,60% de extracto de vino blanco) no implicó diferencias en la evolución de los recuentos microbiológicos, del pH, de la  $a_w$  y de la oxidación lipídica durante el almacenamiento en oscuridad o en luz, respecto al producto elaborado con nitritos. Sin embargo, se observó una menor estabilidad en la textura aunque ésta no implicó una menor vida útil.
  8. La vida útil del lomo Sajonia elaborado con un contenido reducido en nitritos y la del elaborado con un extracto vegetal, tanto cuando eran almacenados en oscuridad como en luz, se estableció en 14 días en base a los resultados microbiológicos.
  9. La utilización de diferentes tipos de recubrimientos antimicrobianos (extracto de romero, extracto de romero + *Pediococcus acidilactici*) aunque no implicó efecto negativo en las características físico-químicas y sensoriales del lomo Sajonia elaborado con un contenido reducido en nitritos ni de las del elaborado con un extracto vegetal, no permitió aumentar su vida útil debido a que no supuso una mejora de su calidad microbiológica.

---

## VII. BIBLIOGRAFÍA

---



## 7.1. BIBLIOGRAFÍA

### A

---

- Adamsen, C. H., Møller, J. K. S., Laursen, K., Olsen, K., Skibsted, L. H. (2006). Zn-porphyrin formation in cured meat products: Effect of added salt and nitrite. *Meat Science*, 72: 672-679.
- AESAN (2008). Informe del Comité Científico en relación con el riesgo de la posible presencia de N-nitrosaminas en productos cárnicos crudos adobados cuando se someten a tratamientos culinarios de asado o fritura. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 8: 9-40.
- Ahn D. U, Maurer A. J. (1990). Poultry meat color: heme complex forming ligands and color of cooked turkey breast meat. *Poultry Science*, 69(10): 1769-1774.
- Aleson-Carbonell, L., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., Kurib, V. (2005). Characteristics of beef burger as influenced by various types of lemon albedo. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6: 247-255.
- Aleson-Carbonell, L., Fernández-Ginés, J. M., Sayas-Barberá, M. E., Fernández-López, J., Navarro, C., Sendra, E., Pérez-Álvarez, J. A. (2002). Influence of albedo in color in dry-cured sausage model system. In *Proceedings of 48th ICOMST (Vol.II, pp. 832-833)*, Rome, 25-30 August.
- Almenar, E., Hernandez, P., Lagarón, J. M., Catalá, R., Gavara, R. (2006). Advances in packaging Technologies for fresh fruits and vegetables. En *Advances in Postharvest Technologies for Horticultural Crops*. Nouredine B y Norio S editores. Research Signpost, Kerala, India. 87-111.
- AMSA. 1991. Guidelines for meat color evaluation. *Reciprocal Meat Conference. Proceedings*, 44: 1-15.
- Andersen, H. J., Bertelsen, A. O., Skibsted, L. H. (1990). Modified packaging as protection against photodegradation of the colour of pasteurized, sliced ham. *Meat Science*, 28: 77-83.
- Andersen, H. J., Bertelsen, G., Boegh-Soerensen, L., Shek, C. K., Skibsted, L. H. (1988). Effect of light and packaging conditions on the color stability of sliced ham. *Meat Science*, 22: 283-92.

## Bibliografía

---

- ANICE (Asociación Nacional de Industrias de la Carne de España), 2012. El sector cárnico. [http://www.anice.es/v\\_portal/apartados/apartado.asp?te=7](http://www.anice.es/v_portal/apartados/apartado.asp?te=7). Consulta realizada: 20 de Junio 2012.
- Arihara, K., Kushida, H., Kondo, Y., Itoh, M., Luchansky, J. B., Cassens, R. G. (1993). Conversion of metmyoglobin to bright red myoglobin derivatives by *Chromobacterium violaceum*, *Kurthia sp.* and *Lactobacillus fermentum* 5JCM1173. *Journal of Food Science*, 58: 38-42.
- Armenteros, M. (2010). Reducción de sodio en lomo y jamón curados. Efecto de la proteólisis y las características sensoriales. Tesis Doctoral Consejo Superior de Investigaciones Científicas e Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Aruoma, O. I. (1994). Nutrition and health aspects of free radical and antioxidants. *Food and Chemical Toxicology*, 32: 671-683.
- B**
- 
- Barbut, S., Mittal, G. S. (1992). Use of carrageenans and xanthan gum in reduced fat breakfast sausages. *Lebensmittel-wissenschaft und -technologie*, 25: 509–513.
- Bard, J., Townsend W. E. (1978). Cured meats: meats. En: The science of meat and meat products, Price J. F. y Schweigert B. S. (eds). Westport, CT: Food and Nutrition Presss. 2nd ed., 452-470.
- Bedinghaus, A. J., Ockerman H. W., Parrett, N. A., Plimpton, R. F. (1992). Intermittent Tumbling Affects Quality and Yield in Prerigor Sectioned and Formed Ham. *Journal of Food Science*, 57, (5), 1063–1092.
- Bekhit, A. E. D., Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science*, 71: 407-439.
- Benito, M. J., Martín, A., Aranda, E., Pérez-Nevado, F., Ruiz- Moyano, S. Córdoba, M. G. (2007). Characterization and selection of autochthonous lactic acid bacteria isolated from traditional Iberian dry-fermented salchichón and chorizo sausages. *Journal of Food Science*, 72: 193–20.
- Benjamin y Collins (2003). Cap. 6: Nitrite en Food Preservative. Editado por Russell, N. J., Warwick Gould, G. 2ª Edición. 102-115.
- Belgin U., Ferruh, S., Ibrahim, E. H. (2006). Effect of temperature on

- phosphate diffusion in meats. *Journal of Food Engineering*, 76: 119-127.
- Bernal, V.M., Smajda, C.H., Smith, J.L., Stanley, D.W. (1987). Interactions in protein/ polysaccharide/calcium gels. *Journal of Food Science*, 52: 1121–1125, 1136.
- Berry, E.D., Hutkins, R.W.; Mandigo, R.W. (1991). The use of bacteriocin-producing *Pediococcus acidilactici* to control postprocessing *Listeria monocytogenes* contamination of frankfurters. *Journal of food protection*, 54, (9): 681-686.
- Betts, G., Everis, L., Betss, R. (2007). Microbial issues in reducing salt in food products. En: Reducing Salt in foods, practical strategies. Editado por Kilcast, D. y Angus, F. CRC Press, Boca Raton, FL, E.E.U.U. 175-199.
- Beumer, R. R., te Giffer, M. C., de Boer, E., Rombouts, F.M. (1996). Growth of *Listeria monocytogenes* on sliced cooked meat products. *Food Microbiology*, 13: 333-340.
- Bloukas, J. G., Arvanitoyannis, I. S., Siopi A. A. (1999). Effect of natural colourants and nitrites on colour attributes of frankfurters. *Meat Science*, 52: 257-265.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (2003). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boletín Oficial del Estado, 21/02/2003, N° 45: 7228-7245.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (1995). Real Decreto 2257/1994, de 25 de noviembre de 1994, por el que se aprueba los métodos oficiales de análisis de piensos o alimentos para animales y sus primeras materias. Boletín Oficial del Estado, 2/03/1995, N° 52: 7161-7237.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (1981). Orden de 5 de noviembre de 1981, por la que se aprueba la Norma Genérica de Calidad para productos cárnicos tratados por el calor.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (1984). Resolución de 26 de Diciembre de 1983, de la Subsecretaria, por la que se modifica la Orden de la Presidencia del Gobierno de 29 de Junio de 1983, que aprueba las normas de calidad para jamón cocido y fiambre de jamón, paleta cocida y fiambre de paleta y magro de cerdo cocido y fiambre de magro de cerdo. Boletín Oficial del Estado 4/01/1984, N° 3: 157-158.
- Boles, J. A., Shand, P. J. (2002). Tumbling regime effects on the processing characteristics and tenderness of cooked roast beef. *Journal of Muscle Foods*, 13: 25-35.

- Borch, E., Berg, H. Y Holst, O. (1991). Heterolactic fermentation by a homofermentative *Lactobacillus* sp. during glucose limitation in anaerobic continuous culture with complete cell recycle. *Journal of Applied Microbiology*, 71: 265-269.
- Bourgeois, C. M. (2000). Aditivos conservantes. Capítulo 8. En: Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias. Editado por Acibia, S.A. Zaragoza. 171-186.
- Bourne, M.C. (2002). Principles of objective texture measurement. Chapter.4. En: Food texture and viscosity. Concept and measurement, pp. 107-188. Editorial Academic Press, London.
- Breene, W.M. (1975). Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *Journal of Texture Studies*, 6: 53-82.
- Brennan, J.G., Day, B.P.F. (2006). Packaging. In Food Processing Handbook. Brennan, J.G. (Ed). Wiley-VCH, Verlag. Weinheim. 291-350.
- Brody, A.L., Strupinsky, E.R. and Kline, L.R., 2001. Active packaging for food applications. Lancaster: Technomic Publishing, Inc. 218.
- C**
- 
- Cabeza, M. C., Cambero, I., De la Hoz, L., Ordóñez, J. A. (2007). Optimization of E-beam irradiation treatment to eliminate *Listeria monocytogenes* from ready-to eat (RTE) cooked ham. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8: 299-305.
- Calvo, M. M., Rodríguez, M. J., Santa-María, J. G., Selgas. M.D., García, M. L.(2010).<http://hdl.handle.net/10261/29512>
- Calvo, M. M., García, M. L., Selgas. M.D. (2008). Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Science*, 80: 167-172.
- Camo, J., Beltrán, J.A, Roncalés, P. (2008). Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging. *Meat Science*, 80:1086-1091.
- Carpenter, R., O'Grady, M.N., O'Callaghan, Y. C., O'Brien, N. M., Kerry, J.P. (2007). Evaluation of the antioxidant potential of grape seed and bearberry extracts in raw and cooked pork. *Meat Science*, 76: 604-610.
- Casaburi, A., Blaiotta, G., Mauriello, G., Pepe O., Villani, F. (2005). Technological activities of *Staphylococcus carnosus* and *Staphylococcus simulans* strains isolated from fermented sausages. *Meat Science*, 71: 643-650.

- Cassens, R. G., Graser, M. I., Ito, T., Lee, M. (1979). Reactions of nitrite in meat. *Food Technology*, 33: 46-57.
- Catalá, R., Hernandez, P., Gavara, R. (2008). Active environmentally compatible food packaging. En *Environmentally-Compatible Food Packaging*. Emo chiellini. Editado por. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, Gran Bretaña, 419-438.
- Catalá, R.; Gavara, R. (2006). La innovación tecnológica en los envases para alimentos. *Eurocarne*, 145: 49-58.
- Cha D. S., Chinnan M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A Review. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 44: 223-237.
- Chacón, A. (2004). La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana*, 15, (2): 225-243.
- Cheng, Q., Sun, D. W., Scannell, A. G. M. (2005). Feasibility of water cooking for pork ham processing as compared with traditional dry and wet air cooking methods. *Journal Food Engineering*, 67: 427-433.
- Cheng, J. H., Ockerman, H. W. (2003). Effect of phosphate with tumbling on lipid oxidation of precooked roast beef. *Meat Science*, 65: 1353-1359.
- Chiu, P.E., Lai, L.S. (2010). Antimicrobial activities of tapioca starch/decolorized hsian-tsoo leaf gum coatings containing green tea extracts in fruit-based salads, romaine hearts and pork slices. *International Journal of Food Microbiology*, 139: 23-30.
- Church, N. (1994). Developments in modified atmosphere packaging and related technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 5: 345-352.
- Cierach, M., Modzelewska-Kapitula, M., Szacilo, K. (2009). The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters. *Meat Science*, 82: 295-299.
- Coma, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*, 78: 90-103.
- Comaposada, J., Gou, P., Arnau, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55: 291-295.
- Comaposada, J., Gou, P., Arnau, J. (1998). Factores que afectan a las isothermas de sorción en los productos cárnicos. *Eurocarne*, 71, 55-61.
- Craddock, V.M. (1992). Aetiology of oesophageal cancer: some operative factors. *European Journal of Cancer Prevention*, 1: 89-103.

D

---

- Dainty, R. H., and B. M. Mackey, 1992. The relationship between the phenotypic properties of bacteria from chill-stored meat and spoilage processes. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement*, 73, 103S–114S.
- Deda, M. S., Bloukas, J. P., Fista, G. A. (2007). Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters. *Meat Science*, 76: 501-508.
- Deniz, E. E., Serdaroglu, M. (2003). Effects of nitrite levels, endpoint temperature and storage on pink color development in turkey rolls. *European Food Research and Technology*, 217, (6): 471-474.
- Devlieghere, F., Vermeiren, L., Bontenbal, E., Lamers, P. P., Debevere, J. (2009). Reducing salt intake from meat products by combined use of lactate and diacetate salts without affecting microbial stability. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 337-341.
- Devlieghere, F., Debevere, J., Vam Impe, J. (1998). Effect of dissolved carbon dioxide and temperature on the growth of *Lactobacillus sake* in modified atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*, 41: 231-238.
- Díaz P., Nieto G., Garrido D. Bañón S. (2008). Microbial, physical-chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the “sous vide” method. *Meat Science*, 80: 287-292.
- Dietrich, M., Blok, G., Pogoda, J., Buffler, P., Hecht, S., Preston-Martin, S. (2005). A review: dietary and endogenously formed N-nitroso compounds and risk of childhood brain tumors. *Cancer Causes and Control*, 16, (6): 619-35.
- Dimitrakopoulou, M. A., Ambrosiadis, J. A., Zetou, F. K., Bloukas, J. G. (2005). Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructures pork shoulder. *Meat Science*, 70: 743-749.
- Dineen, N.M., Kerry, J.P., Lynch, P.B., Buckley, D.J., Morrissey, P.A., Arendt, E.K. (2000). Reduced nitrite levels and dietary  $\alpha$ -tocopheryl acetate supplementation: effects on the colour and oxidative stability of cooked hams. *Meat Science*, 55: 475-482.
- Djenane, D. (2002). Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. Facultad de Veterinaria.
- Domínguez-Fernández, M. C. (1997). Tecnología de la elaboración de productos cárnicos curados-cocidos:

- Jamón y paleta cocida, magros y fiambres. En: Productos cárnicos y lácteos. Departamento de Higiene y Tecnología de los Alimentos. Universidad León.
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2011). Reglamento (CE) n° 1129/2011 de la comisión de 11 de noviembre de 2011 por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) n° 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión. Diario Oficial de la Unión Europea, L 295/1 (12/11/2011).
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2009). Reglamento (CE) n° 450/2009 de la comisión de 29 de mayo de 2009 sobre materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 135/3 (30/05/2009).
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2008a). Reglamento (CE) n° 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre aditivos alimentarios. Diario Oficial de la Unión Europea, L 354/16 (31/12/2008).
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2008b). Reglamento (CE) n°889/2008 de la Comisión, de 5 de septiembre de 2008, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n° 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control. Diario Oficial de la Unión Europea, L 250 (18/09/2008).
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2007a). Reglamento (CE) n° 1441/2007 de la comisión de 5 de diciembre de 2007 que modifica el Reglamento (CE) n° 2073/2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea, L 322/12 (07/12/2007): 1-18.
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2007b). Reglamento (CE) N° 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) N° 2092/91. Diario Oficial de la Unión Europea, 20/07/2007, L 189: 1-23.
- Draughon, F. A. (2004). Use of botanicals as biopreservatives in foods. *Food Technology*, 58: 20-28.
- Durand, P. (2002a). Materias primas (Capítulo 3). En: *Tecnología de los productos de charcutería y salazones*. Editado por Acribia, S.A., Zaragoza. 49-82.

## Bibliografía

---

- Durand, P. (2002b). Ingredientes y aditivos (Capítulo 4). En: Tecnología de los productos de charcutería y salazones. Editado por Acribia, S.A., Zaragoza. 85-130.
- Durand, P. (2002c). La cocción (Capítulo 7). En: Tecnología de los productos de charcutería y salazones. Editado por Acribia, S.A., Zaragoza. 203-263.
- Durand, P. (2002d). El ahumado (Capítulo 8). En: Tecnología de los productos de charcutería y salazones, Editado por Acribia, S.A., Zaragoza. 265-292.
- Durand, P. (2002). Cap 5. Color y coloración.. “Tecnología de los productos de charcutería y salazones”. Ed: Acribia. S.A. Zaragoza, 131-153.
- Durango, A. M., Soares, N.F.F., Andrade, N.J. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*, 17: 336-341.
- Dzudie, T., Okubanjo, A. (1999). Effects of rigor state and tumbling time on quality of goat hams. *Journal of Food Engineering*, 42: 103-107.
- E**
- 
- Ellis, G., Adatia, I., Yazdanpanah, M., Makela, S. (1998). Nitrite and nitrate analysis: a clinical biochemistry perspective. *Clinical Biochemistry*, 31: 195-220.
- Emiroğlu, Z. K., Yemiş, G. P., Coşkun, B. K., Candoğan, K. (2010). Antimicrobial activity of soy edible Films incorporated with thyme and oregano essentials oil son fresh ground beef patties. *Meat Science*, 86: 283-288.
- Ender, F., Ceh, L. (1971). Conditions and chemical reaction mechanisms by which nitrosamines may be formed in biological products with reference to their possible occurrence in food products. *Zeitsch. Lebensmittel. Untersuchung Forschung*, 145: 133-142.
- Esteruelas, M., Kontoudakis, N., Gil, M., Francesca Fort, M., Canals, J. M. Zamora, F. (2011). Phenolic compounds present in natural haze protein of Sauvignon white wine. *Food Research International*, 44: 77-83.
- 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. (2005). Desarrollo de nuevos trasformados cárnicos cocidos a partir de carne, hígado y grasa de cerdo Ibérico con antioxidantes naturales. Tesis Doctoral.

- Departamento de Zootecnia. Universidad de Extremadura, España.
- Eyiler, E., Oztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 307-311.
- F**
- 
- Faustman, C. (1990). The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *Journal of Muscle Foods*, 1: 217-243.
- Fernández-Ginés, J. M., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Pérez-Álvarez J. A. (2004). Lemon albedo as a new source of dietary fiber: Application to bologna sausages. *Meat Science*, 67: 7–13.
- Fernández-Ginés, J. M., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Pérez-Álvarez J. A. (2003). Effect of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fiber. *Journal of Food Science*, 68, (2): 710-715.
- Fernández-López, J., Sendra E., Sayas-Barberá E., Navarro C., Pérez-Álvarez J.A. (2008). Physico-chemical and microbiological profiles of “salchichón” (Spanish dry-fermented sausage) enriched with orange fiber. *Meat Science*, 80: 410-417.
- Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Sendra, E., Sayas-Barberá, M.E., Navarro, C., Pérez-Álvarez, J.A. (2006). Orange fiber as a source of dietary polyphenols: application in dry-cured sausages. Proceeding of 13<sup>th</sup> World Congress of Food Science and Technology; Natentes, France.
- Fernández-López J., Sayas-Barberá E., Pérez-Álvarez J.A., Aranda-Catalá, V. (2004). Effect of Sodium Chloride, Sodium Tripolyphosphate and pH on colour properties of pork meat. *Color, Research and application*, 29: 67-74.
- Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., Aranda-Catalá, V. (2000). Effect of mincing negree on colour properties in pork meat. *Color Research Application*, 25: 376-380.
- Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., Aranda-Catalá, V. (1994). Dry-cured ham: contributions on the influence of pH and temperature during the salting stage. In: Fito P, Serra J, Hernández E, Vidal D, editors. *Anales de investigación del Master en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Valencia: reproval S.L., 3: 563-578.
- Fernández-Martín, F., Cofrades, S., Carballo, J., Jiménez-Colmenero, F. (2002). Salt and phosphate effects on the gelling process of pressure/heat

## Bibliografía

---

- treated pork batters. *Meat Science*, 61: 15-23.
- Fernández-Pan, I., Maté Caballero, J.I. (2011). Recubrimientos comestibles antimicrobianos para el aumento de la seguridad y vida comercial de productos cárnicos. *Eurocarne*, 197: 46-55.
- Fernández-Salguero, J. Gómez, R. Carmona, M. A. (1994). Water activity of Spanish intermediate-moisture meat products. *Meat Science*, 38 (2): 341-346.
- Filgueras, R. S., Gatellier, P., Aubry, L., Thomas, A., Bauchart, D., Durand, D., Zambiazzi, 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, 665-73.
- Fiddler, W., Pensabene, J.W., Piotrowski, E.G., Doerr, R.C., Wasserman, A.E. (1973). Use of sodium ascorbate or erythorbate to inhibit formation of N-Nitroso-dimethylamine in frankfurters. *Journal of Food Science*, 38: 1084.
- Fista, G.A., Bloukas, J.G., Siomos, A.S. (2004). Effect of leek and onion on processing and quality characteristics of Greek traditional sausages. *Meat Science*, 68: 163-172.
- Flores, J. (2010). Función de los nitritos y nitratos y su relación con la nutrición y la salud. En *Carne de cerdo & alimentación saludable*, nº 17 noviembre.
- Flores, J., (2001). Interpretación de las listas positivas de aditivos para uso en la producción de productos cárnicos. *Eurocarne*, 95: 1-5.
- Flores, J., Toldrá, F. (1993). Curing. En: Macrae, R., Robinson, R.K., Sadler, M.J. (Eds), *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*. Academic Press, London, 1277-1282.
- Foegeding, E.A., Ramsey, S.R. (1987). Rheological and waterholding properties of gelled meat batters containing iota carrageenan, kappa-carrageenan or xanthan gum. *Journal of Food Science*, 52: 549-553.
- Fox, J. B. J. (1994). The chemistry of meat pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 14: 207-210.
- Fox, J. B. (1966). The chemistry of meat pigments. *Food processing*, 14, número 3, may-june.
- Freixanet (2010). Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero. Metalquimia S.A. Artículos tecnológicos.

## G

- Ganhão, R., Morcuende, D., Estévez M. (2010). Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Science*, 85: 402-409.
- García-Cachán, M. D. (1992). Estudio de la calidad de la canal y de la carne de los cerdos producidos en Castilla y León. Tesis Doctoral, Universidad de León.
- García, E., Gago, L., Fernández, J. L. (2006). En Tecnologías de envasado en atmósfera protectora Capítulo 1: Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. 12-35.
- García-Gimeno, R. M. (2010). <http://www.uco.es/organiza/departamentos/bromatologia/nutybro/higiene-alimentaria/documentos/conferenciaaditivos.pdf>. Consulta realizada: 27 de Agosto 2010.
- García-Herrero, I. (1994). Maduración de la cecina de vacuno: Parámetros químicos y microbiológicos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de Bioquímica y Biología molecular II.
- García, M.A., Pinotti, A., Martino, N.M., Zaritzky, N.E. (2004). Characterization of composite hydrocolloid films. *Carbohydrate Polymers*, 56: 395-345.
- García, M. L., Calvo, M. M., Dolores Selgas, M. (2009). Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. *Meat Science*, 83: 45-49.
- García, M. L., Cáceres, E., Selgas, M. D. (2007). Utilisation of fruit fibres in conventional and reduced-fat cooked-meat sausages. *Journal of Science and Food Agriculture*, 87: 624-631.
- García-Rey, R. M.; Aquiles-Zafra, R., Luque De Castro, M. D. (2004). Efecto de la alimentación en las características de la canal y de la grasa de cerdo blanco. *Eurocarne*, 129: 1-9.
- Garde, J. A. (2010). Envases activos aplicados a productos cárnicos: con el presente acercando al futuro. *Eurocarne*, 186: 114-126.
- Gavara, R., Catalá, R., Lagarón, J.M. (2003). Envases para productos cárnicos. *Eurocarne*, 114: 47-58.
- Gennadios, A., Hanna, M. A., Kurth, L. B. (1997). Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review. *Lebensm.-Wiss. u.- Technology*, 30: 337-350.
- Gill, A. O., Delaquis, P., Russo, P., Holley, R. A. (2002). Evaluation of antilisterial action of cilantro oil on

## Bibliografía

---

- vacuum packed ham. *International Journal of Food Microbiology*, 73: 83-92.
- Gillett, T. A., Cassidy, R. D., Simon, S. (1981). Effect of continuous massaging on bind yield, and color hams. *Journal of Food Science*, 46: 1681-1683.
- Girad, J. P. (1991). La fumaison. En: *Technologie de la viande et des produits carnés*. Editado por Tec y Doc Lavoisier, Paris, 171-214.
- Goswami, N., Han, J.H., Holley, R.A. (2009). Effectiveness of antimicrobial starch coating containing thyme oil against *Salmonella*, *Listeria*, *Campylobacter*, and *Pseudomonas* on chicken breast meat. *Food Science and Biotechnology*, 18: 425-431.
- Götterup, J., Olsen, K., Knöchel, S., Tjener, K., Stahnke, L. H., Møller, J. K. S. (2008). Colour formation in fermented sausages by meat-associated staphylococci with different nitrite- and nitrate-reductase activities. *Meat Science*, 78: 492-501.
- Guner, A., Gonulalan, Z., Dogruer, Y. (2008). Effect of tumbling and multi-needle injection of curing agents on quality characteristics of pastirma. *International Journal of Food Science and Technology*, 43: 123-129.
- Gutiérrez, J., Barry-Ryan, C., Bourke, P. (2009). Antimicrobial activity of plant essential oils using food model media: Efficacy, synergistic potential and interactions with food components. *Food Microbiology*, 26, 142–150.
- 
- ## H
- 
- Haak, L., Raes, K., Smet, K., Claeys, E., Paelinck, H., De Smet, S. (2006). Effect of dietary antioxidant and fatty acid supply on the oxidative stability of fresh and cooked pork. *Meat Science*, 74: 476-486.
- Haldane, J. (1899). The red color of salted meat. *Journal Hygiene*, 1: 115-122.
- Havery, D., Fazio, T. (1985). Human exposure to nitrosaminas from foods. *Journal of Food Technology*, 39, (5): 80.
- Hayes, J. E., Stepanyan, V., Allen, P., O'Grady, M. N., Kerry, J. P. (2010). Effect of lutein, sesamol, ellagic acid and olive leaf extract on the quality and shelf life stability of packaged raw minced beef patties. *Meat Science*, 84: 613-620.
- Hayes, J. E., Desmond, E. M., Troy, D. J., Buckley, D. J., Mehra, R. (2006). The effect of enhancement with salt, phosphate and milk proteins on the physical and sensory properties of pork loin. *Meat Science*, 72: 380-386.
- Hernández-Hernández, E.; Ponce-Alquicira, E.; Jaramillo-Flores, M.E.;

- Guerrero Legarreta, I. (2009). Antioxidant effect rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and oregano (*Origanum vulgare* L.) extracts on TBARS and colour of model raw pork batters. *Meat Science*, 81, (2): 410-417.
- Hollenbeck, C. M. (1994). Contribution of smoke flavouring to processed meat. En: Flavor of meat and meats products. Blackie Academic and Professional. Londres.
- Hong, G.P., Chin, K.B. (2010). Evaluation of sodium alginate and glucono- $\delta$ -lactone levels on the cold-set gelation of porcine myofibrillar proteins at different salt concentration. *Meat Science*, 85: 201-209.
- Honikel, K. O. (2004). Curing agents. In Encyclopedia of Meat Sciences. W.K. Jensen, C. Devine and M. Dikeman. Editado por Elsevier Ltd., Oxford, U.K.
- Honikel, K. O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78: 68-76.
- Hood, D.E. (1984). The chemistry of vacuum and gas packaging of meat. En: Recent Advances in the Chemistry of Meat, The Royal Society of Chemistry, London, UK. (Ed. Bailey, A.J.). 213-230.
- Hu, P., Guanghong Zhou, Xinglian Xu, Chunbao L., Yanqing H. (2009). Characterization of the predominant spoilage bacteria in sliced vacuum-packed cooked ham based on 16S rDNA-DGGE. *Food Control*, 20: 99-104.
- Huff-Lonergan, E.y Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71: 194-204.
- Hullberg, A., Johansson, L., Lundström, K. (2005). Effect of tumbling and RN genotype on sensory perception of cured-smoked pork loin. *Meat Science*, 69: 721-732.
- Hunt, M. C., Acton, J., Benedict, R., Calkins, C., Cornforth, D., Jeremiah, L., Olsen, D., Salm, C., Savell, J. & Shivas, S., 1991. Guidelines for meat color evaluation. *AMSA, Kansas State University*: 1.
- Hunt, M. C., Kropf D. (1985). Fresh and cured meat color analyses [abstract]. In: Muscle Food Symposium, Kansas State Univ.; June 1985; Institute of Food Technologists Annual Meeting. Manhattan, Kans.: IFT. Abstract nr 151.

**I**

---

IARC, (2010). Monographs. Ingested nitrate and nitrite. Volume 94, 45-110.

ISO, Internacional Organization for Standarization (1998). Determination of ash content, ISO 936:1998 standard. In International standards meat and meat Product-Genève, Switzerland: International Organization for Standarization.

ISO, Internacional Organization for Standarization (1996). Determination of chloride content-Par 1: Volhard method, ISO 1841-1:1996 standard. In International standards meat and meat Product-Genève, Switzerland: International Organization for Standarization.

ISO, Internacional Organization for Standarization (1978). Determination of nitrogen content, ISO 937:1978 standard. In International standards meat and meat Product-Genève, Switzerland: International Organization for Standarization.

ISO, Internacional Organization for Standarization (1975). Determination of nitrite content, ISO 2918:1975 standard. In International standards meat and meat Product-Genève, Switzerland: International Organization for Standarization.

**J**

---

Jägerstad, M., Skog, K. (2005). Review: Genotoxicity of heat-processed foods. *Mutation Research*, 574: 156-172.

Juck, G., Neetoo, H., Chen, H. (2010). Application of an active alginate coating to control the growth of *Listeria monocytogenes* on poached and deli turkey products. *International Journal of Food Microbiology*, 142: 302-308.

Juncá, G., Borell, D., Fernández, E., Lagares, J., Xargayó, M. (2004). Mejoramiento de la textura de la carne en productos marinados empleando inyectora multiagujas esperadoras. *Mundo lacteo y cárnico*. Septiembre/Octubre.

**K**

---

Kärkkäinen, M. (1998). The effect of calcium and phosphate intake on calcium metabolism. Disseration. University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology (Nutrition), Yliopstopaino, Helsinki.

Keenan, D. F., Desmond, E. M., Hayes, J. E., Kenny, T. A., Kerry, J. P. (2010). The effect of hot boning and reduced added phosphate on the processing and sensory properties of cured beef

- prepared from two forequarter muscles. *Meat Science*, 84: 691-698.
- Kester, J.J., Fennema, O.R. (1986). Edible films and coatings: *A review*. *Food Technology* 40, (12): 47-59.
- Kim, Y.H., Huff-Lonergan, E., Sebranek, J.G., Lonergan, S.M. (2011). Effects of lactate/phosphate injection enhancement on oxidation stability and protein degradation in early postmortem beef cuts packaged in high oxygen modified atmosphere. *Meat Science*, 86: 852-858
- Krause, B.L., Sebranek, J.G., Rust, R.E., Mendonca, A. (2011). Incubation of curing brines for the production of ready-to-eat, uncured, no-nitrite-or-nitrate-added, ground, cooked and sliced ham. *Meat Science*, 89: 507-513.
- Krause, R. J., Plimpton, R. F., Ockerman, H. W., Cahill, V. R. (1978). Influence of tumbling and sodium tripolyphosphate on salt and nitrite distribution in porcine muscle. *Journal of Food Science*, 43: 190-192.
- Kreyenschmidt, J., Hubner, A., Beierle, E., Chonsch, L., Scherer, A., Petersen, B. (2009). Determination of the shelf life of sliced cooked ham based on the growth of lactic acid bacteria in different steps of the chain. *Journal of Applied Microbiology*. 108: 510-520.
- Krochta, J. M., De Mulder-Johnson, C. (1997). Edible and biodegradable polymer films: challenges and Opportunities. *Food Technology*, 51(2):61-72.
- Kruif, N. D., Beest, M. V., Rijk, R., Sipilainen, M. T., Paseiro, L. P., Meulenaer (2002). Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Additives & Contaminants*, 19: 144-162.
- Krul, C.A. M., Zeimaker, M.J., Schothorst, R.C., Havenaar, R. (2004). Intra-gastric formation and modulation of N-nitrosodimethylamine in a dynamic in vitro gastrointestinal model human physiological condition. *Food and Chemical Toxicology*, 42: 51-63.
- Kuorwel, K.K., Cran, J. M., Sonneveld, K., Miltz, J., Bigger, W.S. (2011). Antimicrobial activity of biodegradable Polysaccharide and protein-based films containing active agents. *Journal of food Science*, 76, (3): 90-102.
- 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, (9): 3463-3468.

L

---

- Lachowicz, K., Sobczak, M., Gajowiecki, L., Zych, A. (2003). Effects of massaging time on texture, rheological properties, and structure of three pork ham muscles. *Meat Science*, 63: 225-233.
- Lagares J. Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero V: cocción. <http://www.metalquimia.com/documentos.php?idm=2&primer=15&doc=13>
- Lara, M. S., Gutierrez, J. I., Timón, M., Andrés, A. I. (2011). Evaluation of two natural extracts (*Rosmarinus officinalis* L. and *Melissa officinalis* L.) as antioxidants in cooked pork patties packed in MAP. *Meat Science*, 88: 481-488.
- Larsen, H., Westad, F., Sørheim, O., Nilsen, L.H. (2006). Determination of critical oxygen level in packages for cooked sliced ham to prevent color fading during illuminated retail display. *Sensory & Nutritive Qualities of Food*. Falta paginas y volumen
- Ledward, D. A. (1979). Meat. Effect of heating on foodstuffs. In R.J. Priestley (Ed.), London: Applied Science Publishers. 121-157.
- Lehman, K. B. (1901). Uber das Hoernorkodin, ein neues weitverbreitetes Blutfarbstoffderivat, Sitze. Physikal. Med. Ges Wurzburg, 4, 57.
- Lennon, A.M., McDonald, K., Moon, S.S., Ward, P., Kenny, T.A. (2010). Performance of cold-set binding agents in re-formed beef steaks. *Meat Science*, 85: 620-624.
- Li, P.J., Kong, B.H., Zheng, D.M., Zhao, Y.D., Liu, Q., Xia, X.F., Zhang, H.W. (2011). Production of cured meat pigment by *Staphylococcus xylosum* in a model system. 5<sup>th</sup> International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, (ICBBE): 1-4.
- Lianji, M., Chen, N. (1989). Research in improving the water holding capacity of meat in sausage products. 35<sup>th</sup> ICoMST, 781-786.
- Lijinsky, W. (1999). N-nitroso compounds in the diet, *Mutation Research*, 443: 129-138.
- Lim, G. O., Hong, Y. H., Song, K. B. (2010). Application of Gelidium corneum edible films containing carvacrol for ham packages. *Journal of Food Science*, 75: 90-93.
- Lin, G. C., Mittal, G. S., Barbut, S. (1991). Optimization of tumbling and kci substitution in low sodium restructured hams. *Journal of Muscle Foods*, 2, (2), 71-91.
- Lin, H.S., Sebranek, J. G. (1979). Effect of sodium nitrite concentration and

- packaging conditions on color stability and rancidity development in sliced bologna. *Journal of Food Science*, 44:1451-1454.
- Lindhahl, G., Enfält, A. C., Andersen, H. J., Lundström, K. (2006). Impact of RN genotype and ageing time on colour characteristics of the pork muscles longissimus dorsi and semimembranosus. *Meat Science* 74: 746–755.
- Liu, D.C., Wu, S.W., Tan, F.J. (2010). Effects of addition of anka rice on the qualities of low-nitrite Chinese sausages. *Food Chemistry*, 118: 245-250.
- López De La Torre, G.; Carballo García, B., Madrid Vicente M.A. (2001). Productos cárnicos cocidos, En: Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Editado por Mundi-prensa. 133-152.
- López N.; Martínez, M.; Pascual, A.; Gisber, M.; Aparicio, J.; Giner, N., Monleón, C. (2002). Tecnología de elaboración del jamón cocido, Capítulo 64. En: Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos. Editado por Martín & Macías. 1351-1376.
- López, A., López-Munguía, A., Quintero, R. (2002b). Transformación y producción de alimentos. En: Biotecnología alimentaria, 153-383. Editorial Limusa.
- López, A.R. (2011). Posibilidades de desarrollo de productos innovadores. Tendencias en el sector cárnico. *Eurocarne*, 193: 52-62.
- Luck, E., Jager, M. (1998). Antimicrobial food additives (2nd ed.). New York: Springer-Verlag (42-43, 98-101, 116-119, 137-144, 239).
- Lücke, F. K. (2000a). Use of nitrite and nitrate in the manufacture of meat products. *Fleischwirtschaft*, 4: 38-41.
- Lücke, F.K., (2000b). Utilization of microbes to process and preserve meat. *Meat Science* 56: 105– 115.
- Luzón Merino, F., Martín Bejarano (2001). Fabricación de productos cárnicos tratados por el calor. Vol II. Capítulo 65. En: Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos. Editado por Martín & Macías. 1377-1458.

## M

---

- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente) (2012a). El consumo alimentario en España año 2011, 1-17.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente) (2012b). Caracterización del mercado de productos ecológicos en los canales especialistas de venta. Valor, volumen,

## Bibliografía

---

- viabilidad y buenas prácticas de comercialización. NIPO nº 770-11-351-0. Febrero 2012.
- Mancini, R. A., Hunt M. C. (2005). Current research in meat colour. *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, (2): 157–162.
- Marcos Aguiar D. (1989). Otros componentes y su utilización. En: Estudio y clasificación de los productos cárnicos tratados por el calor. 1ª parte. Editorial Ayala. *Cárnica 2000*.
- Marcos, B. (2007). Mejora de la seguridad alimentaria en productos cárnicos listos para el consumo mediante la aplicación combinada de tecnologías de conservación emergentes. Tesis Doctoral Universidad de Gerona.
- Martín, J. L. (2002). Capítulo 7: La Cocción. En Tecnología de los productos de charcutería y salazones. 203-264.
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2011). Borrador de proyecto de real decreto por el que se aprueba la Norma de Calidad de Productos Cárnicos. Dirección General de Industria y Mercados Alimentarios. Subdirección General de Planificación y Control Alimentarios. N-007/11.
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). Valor y volumen de los productos ecológicos de origen nacional en la Industria agroalimentaria española.
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010a). Estudio de mercado. Observatorio del consumo y la distribución alimentaria. Monográfico de alimentos ecológicos. Resultados Abril 2010. Consulta realizada: 20 Junio de 2012. [http://www.marm.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/Informe\\_Obs\\_Ptos\\_Ecol%C3%B3gicos\\_2010.\\_OCDA.Abril\\_2010\\_tcm7-132029.pdf](http://www.marm.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/Informe_Obs_Ptos_Ecol%C3%B3gicos_2010._OCDA.Abril_2010_tcm7-132029.pdf).
- Martín-Belloso, O., Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R. (2009). Delivery of flavour and active ingredients using edible films and coatings. Edible films and coatings for food Applications. M. E. embuscado and K.C. Huber. New York, Springer: 295-314.
- Martín Cerdeño V. J. (2010). Consumo de carne y productos cárnicos. Evolución y tendencias más recientes Distribución y Consumo, Mayo-Junio:5-23

- Martínez L., Cilla I., Beltrán, J. A., Roncalés, P. (2007). Effect of illumination on the display life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere. Influence of the addition of rosemary, ascorbic acid and black pepper. *Meat Science*, 75: 443-450.
- Martínez-Navarrete, N., Andrés Grau, A. M., Chiralt boix, A., Fito Maupoey, P. (1998). Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno de la univ. Polit. De Valencia. Cap. 3: Concepto de la actividad de agua. 51-74.
- Mata-Anguiano (1999). Empleo de fermentos lacticos en la fabricacion de productos carnicol. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.
- Mataragas, M., Drosinos, E. H., Vaidanis, A., Metaxopoulos, I. (2006). Development of a predictive model for spoilage of cooked cured meat products and its validation under constant and dynamic temperature storage conditions. *Food Microbiology*, 71: 157-167.
- Matthews, K., Strong, M. (2005). Salt-its role in meat products and the industry's action plan to reduce it. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, 30: 55-61.
- Maunder, R., Kennard, B. (2002). Carne y pescado ecológicos: Producción, transformación y comercialización. Capítulo 6. En: Procesado y producción de alimentos ecológicos, Editorial Acribia, S.A. 121-126.
- Medynski, A., Pospiech, E., Kniat, R. (2000). Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits. *Meat Science*, 55: 285-290.
- Mercadante, A. Z., Capitani, C. D., Decker E. A., Castro I. A. (2010). Effect of natural pigments on the oxidative stability of sausages stored under refrigeration. *Meat Science*, 84: 718-726.
- Merino L., Edberg U., Fuchs G., Aman P. (2000). Liquid chromatographic determination of residual nitrite/nitrate in foods: NKML Collaborative Study. *Journal of AOAC International*, 83: 365-375.
- Mills, E. (2004). Additives. Encyclopedia of Meat Sciences. W.K. Jensen, C. Devine and M. Dikeman. Editado por Elsevier Ltd., Oxford, U.K. Volumen I, 1-11.
- Miller, R.K. (2010). Functionality of non-meat ingredients used in enhanced pork. Originally published as a Pork quality facts National Pork Board, Des Moines, IA (1998). Last Updated: April 22, 2010. Consulta realizada 26 de Marzo de 2012.

## Bibliografía

---

- Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación (1994). Métodos Oficiales de análisis. Tomo IV.
- Mirvish, S.S. (1995). Role of N-nitroso compounds (NOC) and N-nitrosation in etiology of gastric, esophageal, nasopharyngeal and bladder cancer and contribution to cancer of known exposures to NOC. *Cancer Letters*, 93: 17-48.
- Mitsumoto, M., O'Grady, M. N., Kerry, J. P, Buckley, D. J. (2005). Addition of tea catechins and vitamin C on sensory evaluation, colour and lipid stability during chilled storage in cooked or raw beef and chicken patties. *Meat Science*, 69: 773-779.
- Møller, J.K.S., Jensen, J.S., Skibsted, L.H. (2003). Microbial formation of nitrite-cured pigment, nitrosylmyoglobin, from metmyoglobin in model systems and smoked fermented sausages by *Lactobacillus fermentum* strains and a commercial starter culture. *Eur Food Res Technol*, 216: 463-469.
- 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, pasteurised ham packaged in modified atmosphere. *Meat Science*, 54: 399-405.
- Mora, L. (2010). Determinación de compuestos bioquímicos para el control de calidad en la elaboración de jamón cocido y jamón curado. Tesis Doctoral Consejo Superior de Investigaciones Científicas e Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Morita, H., Sakata, R., Nagata, Y. (1998). Nitric Oxide Complex of Iron(II) Myoglobin Converted from Metmyoglobin by *Staphylococcus xylosum*. *Journal of Food Science*, 63, (2): 352-355.
- Morita, H., Yoshikawa, H., Sakata, R., Nagata, Y., Tanaka, H. (1997). Synthesis of nitric oxide from the two equivalent guanidino nitrogens of L-arginine by *Lactobacillus fermentum*. *Journal of Bacteriology*, 179: 7812-7815.
- Mossel, D. A. A., Moreno, B. (1985). En *Microbiología de los alimentos. Fundamentos ecológicos para garantizar y comprobar la inocuidad y la calidad de los alimentos*. Cap: 3: Alteraciones de los alimentos por microorganismos. Editado por Acribia S. A, Zaragoza, España. 54-89.
- Motycka, R. R., Bechtel, P. J. (1983). Influence of pre-rigor processing, mechanical tenderization, tumbling method and processing time on the quality and yield of ham. *Journal of Food Science*, 48: 1532-1536.

Müller, W. D. (1991). Cooked cured products. Influence of manufacturing technology. *Fleischwirtschaft*, 71, 544, 546-550.

Müller, W. D. (1989). The technology of cooked cured products. *Fleischwirtschaft*, 69: 1428-1524.

## N

---

Naveena, B. M., Sen, A. R., Vaithyanathan, S., Babji, Y., Kondaiah, N. (2008). Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties. *Meat Science*, 80: 1304-1308.

Nannerup, L.D., Jakobsen, M., Berg, F., Jensen, J.S., Møller, J.K.S., Bertelsen, G. (2004). Optimizing colour quality of modified atmosphere packed sliced meat products by control of critical packaging parameters. *Meat Science*, 68: 577-585.

Nieto-Lozano, J. C., Reguera-Userosa J. I., Peláez-Martínez, M<sup>a</sup>., Hardisson, de la Torrec, A. (2006). Effect of a bacteriocin produced by *Pediococcus acidilactici* against *Listeria monocytogenes* and *Clostridium perfringens* on Spanish raw meat *Meat Science*, 72, (1): 57-61.

Nissen, L. Byrne, D. Bertelsen G. Y Skibsted L. (2004). The antioxidative activity of plant extracts in cooked pork patties as evaluated by descriptive sensory profiling and chemical analysis. *Meat Science*, 68: 485-495.

Nordin, H.R. (1969). The depletion of added sodium nitrite in ham. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 2: 79-85.

Nunes, H., Grèbol, N. (2011). Las altas presiones, una realidad industrial al alcance de todas las empresas cárnicas. *Eurocarne*, 202: 54-59.

Núñez de Gonzalez, M. T., Hafley, B. S., Boleman R. M., Miller, R. M., Rhee K. S., Keeton J. T. (2009). Qualitative effects of fresh and dried plum ingredients on vacuum-packaged, sliced hams. *Meat Science*, 83:74–81.

Núñez, E. (2004). Comercialización estratégica de la carne de cerdo raza large White. Proyecto de graduación. Guayaquil (Ecuador).

## O

---

Ockerman, H. W., 1976. Quality Control of Post Mortem Muscle and Tissue. 10<sup>th</sup> Edn Vol. 1., The Ohio State University, Columbus, OH., USA.

## Bibliografía

---

- Offer, G. (1991). Modeling of the formation of pale, soft and exudative meat effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, 30, 157–184.
- Olaoye, O.A., Dodd, C.E.R. (2010). Evaluation of bacteriocinogenic *Pediococcus acidilactici* as protective culture in the preservation of Tsire, a traditional nigerian stick meat. *Journal of Food Safety*, 30, (4): 867–888.
- Ordóñez, J. A., Hierro, E. M., Bruna, J. M., Hoz, L. (1999). Changes in the components of dry-fermented sausages during ripening. *Critical Review in food Science and technology*, 39: 329-367.
- Ordóñez-Pereda, J. A., De La Hoz-Perales, L. (2001). Capítulo 51, Embutidos crudo curados. Tipos. Fenómenos madurativos. Alteraciones. En Enciclopedia de la Carne y de los Productos Cárnicos. Editado por Martín y Macías, Plasencia (Cáceres).
- Ouattara, B., Simard, R. E., Piette, G., Belgin, A., Holley, R. A. (2000). Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with Chitosan. *International Journal of Food Microbiology*, 62: 139–148.
- Østerlie, M., Lerfall, J. (2005). Lycopene from tomato products added minced meat: Effect on storage quality and colour. *Food Research International*, 38: 925-929.
- ### P
- 
- Palacios, M. (2003). Fosfatos en productos cárnicos. *Eurocarne*, 112, 1-5.
- Palang, E. Y. (2004). The role of ingredients and processing conditions on marinade penetration, retention and color defects in cooked marinated chicken breast meat. University of Georgia.
- Park, K. R., Lee, S. J., Shin, J. H., Kim, J. G., Sung, N. J. (1998). The formation of N-nitrosamine in commercial cured products. I. Occurrence of N-nitrosamine in commercial ham and sausage. *Korean Journal of Food Hygiene and Safety*, 13, (4): 400–405.
- Parry, R.T. (1995). Cap. 1: Introducción. En R.T. PARRY, Envasado de los alimentos en atmósfera modificada. Ediciones A. Madrid Vicente, Madrid. 13-31.
- Pastor, C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia.
- Payne, M. J., Glidwell, C., Cammack, R. (1990). Interaction of iron-thiol-

- nitrosyl compounds with the phosphoroclastic system of *Clostridium sporogenes*. *Journal of General Microbiology*, 136: 2077-2087.
- Pearson A. M., Dutson T. R. (1994). Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Advances in meat research series. Capítulo 2. Colour-its basis and importance (D. Cornforth). Volume 9.
- Pegg, R. B., Shahidi, F. (2000). Nitrite curing of meat. The n-nitrosamine problem and nitrite alternatives. Trumbull, CT: Food and Nutrition Press, Inc.
- Pérez-Alonso, F., Aubourg, Santiago P., Rodríguez, O., Barros-Velázquez, J. (2004). Shelf life extension of Atlantic pomfret (*Brama brama*) fillets by packaging under a vacuum-skin system. *European Food Research and Technology*, 218,313-317.
- Pérez-Rodríguez, M. L., Bosch-Bosch, N., García-Mata, M. (1996). Monitoring nitrite and nitrate residues in Frankfurters during processing and storage. *Meat Science*, 44: 65-73.
- Pexara E. S., Metaxopoulos J., Drosinos E. H. (2002). Evaluation of shelf life of cured, cooked, sliced turkey fillets and cooked pork sausages-'piroski'-stored under vacuum and modified atmospheres at +4 and +10°C. *Meat Science*, 62, (1): 33-43.
- Pietrasik, Z., Duda, Z. (2000). Effect of fat content and soy protein/carrageenan mix on the quality characteristics of comminuted, scalded sausages. *Meat Science*, 56: 181-188.
- 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.
- Pietrasik Z., Shand P. J. (2004). Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef. *Meat Science*, 66: 871-879.
- Ponce, A. G., Rouraa, S. I., Del Valle C. E., Moreira, M.R. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: In vitro and in vivo studies. *Postharvest Biology and Technology* 49, 294-300.
- Pourazrang, H., Moazzami, A.A., Fazly Bazzaz, B.S. (2002). Inhibition of mutagenic N-nitroso compound formation in sausage samples by using l-ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol. *Meat Science*, 62: 479-483.
- Prabhakar K. (1999). Curing of meat. Meat and poultry. Encyclopedia of Food Microbiology. Editado por

## Bibliografía

---

- Richard K. Robinson (Berkshire, U.K.).
- Prandl, O., Foscher, A., Schmidhofer, T., Sinell, H. J. (1994). Microbiología de los productos cárnicos. En: "Tecnología e higiene de la carne" Cap. 6. Editado por Acribia S.A: Zaragoza.
- Puolanne, E. J., Ruusunen, M. H., Vainionpää, J. I. (2001). Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate. *Meat Science*, 58: 1-7.
- ### Q
- 
- Quintero, B. (2006). Incorporación de la pediocina producida por *Pediococcus parvulus* MXVK133 en películas y recubrimientos comestibles. Tesis Doctoral Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa. México.
- ### R
- 
- Raharjo, S., Dexter, D.R., Worfel, R.C., Sofos, J.N., Solomon, M.B., Shults, G.W., Schmidt, G.R. (1995). Quality characteristics of restructured beef steaks manufactured by various techniques. *Journal of Food Science*, 60, (1): 68-71.
- Rakesh, K.S., Singh, N. (2005). Quality of packaged food. En: Innovations in Food Packaging. Edited by Jung H. Han. *Food Science and Technology International Series*: 24-40.
- Raybaudi, R. M., Soliva, R., Beloso, O. (2006). Uso de agentes antimicrobianos para la conservación de frutas frescas y frescas cortadas. I Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados, San Pedro, SP Brazil, 15-21.
- Reichert, J. E. (1988). Jamón Cocido. En: Tratamiento térmico de los productos cárnicos. Editado por Acribia, S.A. Zaragoza. 132-149
- Rodríguez, R. (2003). Tesis Doctoral: Desarrollo y Validación de modelos matemáticos para la predicción de vida comercial de productos cárnicos. Departamento de bromatología y tecnología de los alimentos. Facultad de veterinaria, Córdoba.
- Rooney ML, (1995). Overview of active food packaging, in Active Food Packaging, Rooney M L editor. Blakie Academic & Professional, Glasgow Gran Bretaña.
- Rubio, B., Sánchez, M. J., Vaquero, M., Martínez, B. (2009). Elaboración de productos cárnicos cocidos ecológicos. *Eurocarne*, 66, 66-76.

- Ruusunen, M., Puolanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70:531-541.
- Ruusunen, M., Vainiopää, J., Lyly, M., Lähtenmäki, L., Niemistö, M., Ahvenainen, R., Puolanne, E. (2005). Reducing the sodium content in meat products: The effect of the formulation in low-sodium ground meat patties. *Meat Science*, 69: 53-60.
- Ruusunen, M., Vainionpää J., Puolanne, E., Lyly, M., Lähtenmäki, L., Niemistö, M., Ahvenainen, R. (2003). Physical and sensory properties of low-salt phosphate-free frankfurters composed with various ingredients. *Meat Science*, 63: 9-16.
- Ruusunen, M. (2002). Sodium reduction in cooked meat products by using commercial potassium phosphate mixtures. *Agricultural and Food Science in Finland*, II: 199-207.
- Rywotycki, R. (2002). The effect of selected functional additives and heat treatment on nitrosamine content in pasteurized pork ham. *Meat Science*, 60, 335-339.
- S**
- 
- Samelis J., Kakouri A., Rementzis J., (2000). Selective effect of the product type and the packaging conditions on species of lactic acid bacteria dominating the spoilage microbial association of cooked meats at 4°C. *Food Microbiology*, 17: 329-340.
- Sánchez-González, L., Cháfer, M., Hernández, M., Chiralt, A., González-Martínez, C. (2011). Antimicrobial activity of polysaccharide films containing essential oils. *Food Control*, 22, (8): 1302-1310.
- Sánchez M.J. (2012). Estrategias para la elaboración de jamón cocido ecológico: optimización del proceso tecnológico de elaboración y de conservación. Tesis Doctoral Universidad de Salamanca. España.
- Sánchez M.J., Vaquero M., Rubio B. and Martínez B. (2010). Study of the characteristics of conventional cooked hams and organic cooked hams. Session 5. Quality assurance and traceability of products. 7<sup>th</sup> International Symposium on Mediterranean Pig. 115.
- Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Peñaranda, M., Fuentes-Zaragoza, E., Sendra, E., Sayas, E., Pérez-Álvarez, J. A. (2011). Technological properties of date paste obtained from date by-products and its effect on the quality of a cooked meat product. *Food Research International*, 44, (7): 2401-2407.
- Santos C., Ordoñez J. A. (2004). Physicochemical characteristics of an

## Bibliografía

---

- alfa-linolenic acid and alfa-tocopherol-enriched cooked ham. *Food Chemistry* 88: 123-128.
- Santos, R., Beldarraín, T., Ramos, M. (2004). Preservantes en la industria Cárnica. Revisión y actualización. *Alimentaria*, 47-55.
- Sárraga, C., Guàrdia, M. D., Díaz, I., Guerrero, L., Regueiro, J. A., Arnau, J. (2007). Nutritional and sensory quality of porcine raw meat, cooked ham and dry-cured shoulder as affected by dietary enrichment with docosahexaenoic acid (DHA) and tocopheryl acetate. *Meat Science* 76: 377-384.
- Scannell, A.G.M., Kenneally, P.M., McCarthy, D., Schwarz, G., Arendt, E.K. (2002). Optimisation of fermentation conditions of a novel cooked fermented ham product. *European Food Research and Technology*, 215: 183-188.
- Schnepf, M.I. (1992). Protein-water interactions. En *Biochemistry of Food Proteins*. Ed. B.J.F. Hudson. Elsevier Science, London. 1-33.
- Sebranek, J. G., Bacus, J. (2007a). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues?. *Meat Science*, 77: 136-147.
- Sebranek, J. G. y Bacus, J. (2007b). Natural and organic cured meat products: Regulatory manufacturing, marketing, quality and safety issues. *American Meat Science Association White Paper Series*, 1: 1-15.
- Sen, N. P., Seaman, S. W., Baddeo, P. A., and Weber. (1989). Determination and occurrence of 2-(hydroxymethyl)-N-nitrosothiazolidine in fried bacon and other cured meat products. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 37: 717.
- Seol, K. H., Lim, D. G., Jang, A. Jo, C., Lee, M. (2009). Antimicrobial effect of k-carrageenan-based edible film containing ovotransferrin in fresh chicken breast stored at 5°C. *Meat Science*, 83: 479-483.
- Seydim, A. C., Sarikus, G. (2006). Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International*, 39: 639-644.
- Shahidi, F. (1991). Developing alternative meat-curing systems, review. *Trends Food Science Technology*, 219-222.
- Shahidi, F., Pegg, R.B. (1994). Absence of volatile n-nitrosamines in cooked nitrite-free cured muscle foods. *Meat Science*, 37: 327-336.
- Shahidi, F., Pegg, R.B. (1990). Colour characteristics of cooked cured-meat

- pigment and its application to meat. *Food Chemistry*, 38: 61-68.
- Shahidi, F., Samaranayaka, A. G. P. (2004). En Brine, Encyclopedia of Meat Sciences. W.K. Jensen, C. Devine and M. Dikeman. Editado por Elsevier Ltd., Oxford, U.K.. Vol. I. 366-374.
- Shahidi, F., Synowiecki, J. (1997). Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications. *Food Chemistry*, 60: 9-16.
- Sindelar, J. J., Cordray, J. C., Olson, D. G., Sebranek, J. G., Love, J. A. (2007a). Effects of vegetable juice powder concentration and storage time on some chemical and sensory quality attributes of uncured, emulsified cooked sausages. *Journal of Food Science*, 72: 324-332.
- Sindelar, J. J., Cordray, J. C., Olson, D. G., Sebranek, J. G., Love, J. A., (2007b). Effects of varying levels of vegetable juice powder and incubation time on color, residual nitrate and nitrite, pigment, pH and trained sensory attributes of ready-to-eat uncured ham. *Journal of Food Science*, 72: 388-395.
- Sindelar, J. J., Cordray, J. C., Olson, D.G., Sebranek, J.G., Love, J. A., (2007c). Investigating quality attributes and consumer acceptance of uncured, no nitrate/nitrite-added commercial hams, bacons and frankfurters. *Journal of Food Science*, 72: 551-559.
- Singh, R. K., Singh, N. (2005). En Innovation in Food Packaging. Cap. 3: Quality of packaged foods. 24-44. Edited by Jung H. Han. Department of Food Science University of Manitoba, Canada.
- Smiddy, M., Papkovskaia, N., Papkovsky, D. B., 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.
- Solomon, L. W., Norton, H. W., Schmidt, G. R. (1980). Effect of vacuum and rigor condition on cure absorption in tumbled porcine muscles. *Journal of Food Science*, 45, (3), 438-440.
- Somboonpanyakul, P., Barbut, S., Jantawat, P., Chinprahast, N. (2007). Textural and sensory quality of poultry meat batter containing malva nut gum, salt and phosphate. *LWT-Food Science and Technology*, 40: 498-505.
- Stadnik, J., Dolatowski, Z. J., Baranowska, H. M. (2008). Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (*m. semimenbranosus*) during ageing.

- Food Science and Technology*, 41: 2151-2158.
- Stanley, N.F. (1990). Carrageenans. En P. Harris (Ed.), *Food gels*. London: Elsevier Science Publishers Ltd. 53–78
- Stanojevic, D., Comic, L., Stefanovic, O., Solujic-Sukdolak, S. L. (2009). Antimicrobial effects of sodium benzoate, sodium nitrite and potassium sorbate and their synergistic action in vitro. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15, (4):307-311.
- Straadt, I. K., Rasmussen, M., Andersen, H. J., Bertram, H. C. (2007). Aging-induced changes in microstructure and water distribution in fresh and cooked pork in relation to water-holding capacity and cooking loss- A combined confocal laser scanning microscopy (CLSM) and low-field nuclear magnetic resonance relaxation study. *Meat Science*, 75: 687-695.
- 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): 408-419.
- Sutton, D.S., Brewer, M.S., McKeith, F.K.. (1997). Effects of sodium lactate and sodium phosphate on the physical and sensory characteristics of pumped pork loins. *Journal of Muscle Foods*, 8: 95.
- Szalai, M., Szigeti, J., Farkas, L., Varga, L., Réti, A., Zukál, E. (2004). Effect of headspace CO<sub>2</sub> concentration on shelf-life of cooked meat products. *Acta Alimentaria*, 33, (2): 141-155.
- Szerman, N., Gonzalez, C. B., Sancho, A. M., Grigioni, G., Carduza, F., Vaudagna, S. R. (2007). Effect of whey protein concentrate and sodium chloride addition plus tumbling procedures on technological parameters, physical properties and visual appearance of sous vide cooked beef. *Meat Science* 76: 463–473.

## T

---

- Tantikarnjathep, K., Sebranek, J.G.; Topel, D.G. and Rust, R.E. (1983). Use of Vacuum during formation of meat emulsions. *Journal of Food Science* 48: 1039-1042.
- Tarladgis, B.G., Watts, B.M., Younathan, M.T. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 37: 44-48.
- Terns, M. J., Milkowski, A. L., Rankin, S. A., Sindelar, J. J. (2011). Determining the impact of varying levels of cherry powder and starter culture on quality and sensory attributes of indirectly cured,

- emulsified cooked sausages. *Meat Science*, 88: 311-318.
- Theivendran S, Hettiarachchy N, Johnson M. (2006). Inhibition of *Listeria monocytogenes* by nisin combined with grape seed extract or green tea extract in soy protein film coated on turkey frankfurters. *Journal of Food Science*, 71, (2):39-44.
- Tiwari, B. K., Valdramidis, V. P., O'Donnell, C. P., Muthukumarappan, k., Bourke, P., Cullen, P. J. (2009). Application of natural antimicrobials for food preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 5987-6000.
- Tompkin, R.B. (2005). Nitrite. In *Antimicrobials in Food*. P.M. Davidson, J.N. Sofos y A.L. Branene CRC Press, Taylor & Frances Group. Boca Raton, FL.
- Toldrá, F. (2006). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trend in Food Science Technology*, 17: 164-168.
- Tsoukalas, D.S., Katsanidis, E., Marantidou, S., Bloukas, J.G. (2011). Effect of freeze-dried leek powder (FDLP) and nitrite level on processing and quality characteristics of fermented sausages. *Meat Science*, 87: 140-146.
- Tyszkiewicz, I., Klossowska, B. M., Wiczorek, U., Jakubiec-Puka, A. (1997). Mechanical tenderization of pork meat: Protein and water release due to tissue damage. *Journal of Science, Food and Agriculture*, 73: 179-185.
- 
- ## U
- UNE EN ISO 8586-2 (2009). Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de evaluadores. Norma española aprobada por AENOR 8586-2. En: Análisis sensorial/ AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- UNE 4120:2008, (2008). Análisis sensorial. Metodología prueba triangular (ISO 4120:2004) Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- UNE 87-024, (1995). Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de jueces. Parte 1: catadores. En: Análisis sensorial/ AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. AENOR, DL, Madrid.
- UNE 87-004, (1979). Análisis sensorial. Guía para la instalación de una sala de cata. En "Análisis sensorial/ AENOR". Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997. AENOR, DL, Madrid.

## Bibliografía

---

- Ünal, S.B., Erdoğan, F.H., Ekiz, H. I. (2006). Effect of temperature on phosphate diffusion in meats. *Journal of Food Engineering*, 76: 119-127.
- V**
- 
- Van Der Schee, H.A. (1998). The nitrate content of vegetables of the Dutch Market in 1996, Amsterdam: Inspectorate for Health Protection.
- Vaquero, M., Rubio, B., Martínez B. y Sánchez, M. J. 2011. Application of antimicrobials incorporated into polysaccharides edible films on vacuum packed cooked loin. IV International Conference on Environmental, Industrial and Applied Microbiology (BioMicroWorld2011) Torremolinos (España), 14-16 Septiembre 2011.
- Vargas del Río, L.M., Taborda, G. (2006). Nitrosaminas en productos cárnicos: formación e impacto. *Biosalud*, 5: 101-131.
- Vasilopoulos, C., Ravyts, F., De Maere, H., De Mey, E., Paelinck, H., De Vuyst, L., Leroy, F. (2007). Evaluation of the spoilage lactic acid bacteria in modified atmosphere-packaged artisan-type cooked ham using culture dependent and culture-independent approaches. *Journal of Applied Microbiology*: 1-13.
- Vásquez, S. M., Suárez, H., Zapata, S. (2009). Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. *Revista Chilena de Nutrición*, 36: 64-71.
- Ventanas, S., Martín, D., Ventanas J., Ruiz J. (2004). Nitratos, nitritos y nitrosaminas en productos cárnicos (II). *Eurocarne*, 130, 1-15.
- Verbeken, D., Neirinck, N., Van Der Meeren, P., Dewettinck, K. (2005). Influence of K-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins. *Meat Science*, 70: 161-166.
- Verma, S. P., Sahoo, J. (2000). Improvement in the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate preblending. *Meat Science*, 56: 403-413.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Vandekinderen, I., Debevere, J. (2006). The interaction of the non-bacteriocinogenic *Lactobacillus sakei* 10 A and lactocin S producing *Lactobacillus sakei* 148 towards *Listeria monocytogenes* on a model cooked ham. *Food Microbiology*, 23: 511-518.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Debevere, J. (2004). Evaluation of meat born lactic acid bacteria as protective cultures for the biopreservation of cooked meat

- products. *International Journal of Food Microbiology*, 96: 149-164.
- Viana, R., Yebra, M. J., Galán, J. L., Monedero, V., Pérez-Martínez, G. (2005). Pleiotropic effects of lactate dehydrogenase inactivation in *Lactobacillus casei*. *Research in Microbiology*, 156, (5–6), June–July: 641-649.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Sánchez-Zapata, E., Fernández-López J., Pérez Álvarez J. A. (2010a). “Antioxidant Activity of Essential Oils of Five Spice Plants Widely Use in Mediterranean Diet,” *Flavour and Fragrance Journal*, 25, (1): 13-19.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J.A. (2010b). Effect of orange dietary fibre, oregano essential oil and packaging conditions on shelf-life of bologna sausages. *Food Control*, 21: 436-443.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, Pérez-Álvarez, J.A. (2010c). Effect of added citrus fibre and spice essential oils on quality characteristics and shelf life of mortadella. *Meat Science*, 85: 568-576.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, Pérez-Álvarez, J.A. (2010d). Effect of adding citrus fibre washing water and rosemary essential oil on the quality characteristics of a bologna sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 1-6.
- Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., Sayas-Barbera, E., Sendra, E., Navarro, C., Pérez-Álvarez, J. A. (2009a). Citrus co-products as Technological strategy to reduce residual nitrite content in meat products. *Journal of Food Science*. 74, (8): 93-100.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A. (2009b). Effect of adding citrus waste water, thyme and oregano essential oil on the chemical, physical and sensory characteristics of a bologna sausage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10: 655-660.
- Von Holy, A., Cloete, T. E., Holzapfel W. H. (1991). Quantification and characterization of microbial populations associated with spoiled, vacuum-packed Vienna sausages. *Food Microbiology*, 8, (2): 95–104.

---

**W**

- Walsh, H., Martins, S., O'Neill, E.E., Kerry, J.P., Kenny, T., Ward, P. (2010). The effect of sodium lactate, potassium lactate, carrageenan, whey protein concentrate, yeast extract and fungal proteinases on the cook yield and tenderness of bovine chuck muscles. *Meat Science*, 85: 230-234.

## Bibliografía

---

- Wang, S. H., Chang, M. H., Chen, T. C. (2004). Shelf-life and microbiological prolifer of chicken wing products following sous vide treatment. *International Journal of Poultry Science*, 3: 326-332.
- Wasilewski, P. D., Nowachowicz, J., Michalska, G., Lynch B., Mullen A. M., (2009). The impact of conjugated linoleic acid addition on ph value of Longissimus dorsi muscle. *Journal of Central European Agricultura*, 10, (1) : 53-56.
- Wassermann, A. E., Talley, F. (1972). The effect of sodium nitrite on the flavour of frankfurters. *Journal of Food Science*, 37: 536-538.
- Weiss, J., Gibis, M., Schuh, V., Salminen, H. (2010). Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86: 196-213.
- World Cancer Research Fund/American Institute For Cancer Research (2007). Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: A Global Perspective 517. Washington, DC.: American Institute for Cancer Research.
- Wringht, S., McCrea, D. (2002). Procesado y producción de alimentos ecológicos. Editorial Acibia, S.A.
- Wu Y, Rhim, J. W, Weller C. L, Hamouz F, Cuppett, Shnepf M. (2000). Moisture loss and lipid oxidation for precooked beef patties stored in edible coating and films. *Journal of Food Science*, 65(2): 300-304.

---

## X

---

- Xargayó M. (2010). Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero III: Masaje. En Metalquimia. Artículos tecnológicos. Editado por Metalquimia S.A. Gerona, España.
- Xargayó M., Freixanet, L., Lagares, J., Fernández, E., De Jaeger-Ponnet, P.(2010) Efectos de una fase de pre-masajeado em la elaboración de productos cárnicos cocidos de músculo entero. En Metalquimia. Artículos tecnológicos. Editado por Metalquimia S.A. Gerona, España.
- Xargayó, M., Lagares, J. (2010). Rentabilidad de las líneas de fabricación de jamón cocido: adaptación a diferentes ciclos de maduración. En Metalquimia. Artículos tecnológicos. Editado por Metalquimia S.A. Gerona, España.
- Xargayó, M., Lagares, J. (1992). Computerized massaging of meat. *Fleishwirtschaft*, 4: 28-35.

- Xiong Y., L. (2005). Role of myofibrillar proteins in water-binding in brine-enhanced meats. *Food Research International*, 38: 281-287.
- Xiong, Y. L. (1997). Structure-Functionality relationship of muscle proteins (Capítulo 12). En: *Food Proteins and their Applications*. Editado por Damoradan, S. y Paraf, A. Marcel Dekker, Inc., New York, E.E.U.U. 341-392.
- Y**
- 
- Ye, M., Neetoo, H., Chen, H. (2008). Control of *Listeria monocytogenes* on ham steaks by antimicrobials incorporated into chitosan-coated plastic films. *Food Microbiology*, 25: 260-268.
- Z**
- 
- Zarringhalami, S., Sahari, M. A., Hamidi-Esfehani, Z. (2009). Partial replacement of nitrite by annatto as a colour additive in sausage. *Meat Science*, 81: 281-284.
- Zhang, H., Kong, B., Xiong, Y. L., Sun, X. (2009). Antimicrobial activities of spice extracts against pathogenic and spoilage bacteria in modified atmosphere packaged fresh pork and vacuum packaged ham slices stored at 4°C. *Meat Science*, 81: 686-692.
- Zhang, X., Kong, B., Xiong, Y.L. (2007). Production of cured meat color in nitrite-free Harbin red sausage by *Lactobacillus fermentum* fermentation. *Meat Science*, 77: 593-598.
- Zinoviadou, K. G., Koutsoumanis, K. P., Biliaderis, C. G. (2010). Physical and thermo-mechanical properties of whey protein isolated films containing antimicrobials, and their effect against spoilage flora of fresh beef. *Food Hydrocolloids*, 24 (1): 49-59.
- Zinoviadou, K. G., Koutsoumanis, K. P., Biliaderis, C. G. (2009). Physico chemical properties of whey protein isolated films containing oregano oil and their antimicrobial action against spoilage flora of fresh beef. *Meat Science*, 82, (3): 338-345.