



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA
NUTRICIÓN Y BROMATOLOGÍA
FACULTAD DE FARMACIA**

**ESTRATEGIAS PARA LA ELABORACIÓN DE JAMÓN
COCIDO ECOLÓGICO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO
TECNOLÓGICO DE ELABORACIÓN Y DE CONSERVACIÓN**

Memoria presentada por la Licenciada en Biología

MARÍA JOSEFA SÁNCHEZ IGLESIAS para optar al grado de Doctor

Fdo: María Josefa Sánchez Iglesias

Salamanca, 15 de Mayo de 2012

Dña. **Beatriz Martínez Domínguez**, Investigadora y Dña. **Begoña Rubio Hernando**, Técnico, 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 “**Estrategias para la elaboración de jamón cocido ecológico: Optimización del proceso tecnológico de elaboración y de conservación**”, de la que es autora la Licenciada en Biología Dña. **María Josefa Sánchez Iglesias**, 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, 15 de Mayo de 2012.

Fdo.: Beatriz Martínez Domínguez

Fdo.: Begoña Rubio Hernando



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: nutr@usal.es

CONCEPCIÓN GARCÍA MORENO, Profesora Titular de Nutrición y Bromatología de la Universidad de Salamanca, informa que D^a **María Josefa Sánchez Iglesias** ha realizado el trabajo titulado “Estrategias para la obtención de jamón cocido ecológico: optimización del proceso tecnológico de elaboración y de conservación”, bajo la dirección de las **Dras. Beatriz Martínez Domínguez** y **Begoña Rubio Hernando** y estimo, como tutora, que el mencionado trabajo reúne los requisitos necesarios para su presentación y defensa como Tesis Doctoral.

Salamanca, 15 de Mayo de 2012.

Fdo.: Concepción García Moreno

Para la realización de la Tesis Doctoral, la autora ha disfrutado de una beca predoctoral del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL) de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León, 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).

A mi familia y en especial a Alba

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

A la Dra. Beatriz Martínez Domínguez y a la Dra. Begoña Rubio Hernando, mis directoras de tesis, por su dedicación, apoyo y por los conocimientos que me han transmitido.

Al Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Universidad de Salamanca, en especial a la Dra. M^a Concepción García Moreno por su formación y acogida.

Al Dr. Sebranek, por su recibimiento, por permitirme realizar una estancia en su laboratorio, "Department of Animal Science, Meat Laboratory, Iowa State University"; y por su atención durante ese tiempo.

Al Instituto Tecnológico Agrario de la Junta de Castilla y León (ITACyL) por la concesión de la beca predoctoral "Desarrollo de nuevos productos cárnicos cocidos" (Convocatoria 9 de febrero de 2005, Resolución 7 de Abril de 2005) que ha hecho posible mi formación para desarrollar mi labor investigadora.

Al personal de la Estación Tecnológica de la Carne, por facilitar la realización de mi trabajo día a día, principalmente, al panel de catadores entrenados que continuamente ha sufrido, y a la vez disfrutado de los productos cárnicos elaborados durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral.

A Carnipor S.L. por su colaboración en la realización de esta Tesis y a los grupos técnicos de Grupalia, NC. Hiperbaric, CHR, Hansen y Prosur por su asesoramiento.

A Cristi, Mónica y sobre todo a Montse, por su amistad y ayuda en estos años, en definitiva por estar ahí, "mano a mano". A Francisco y Simón, por haberme dedicado un ratito de su tiempo libre durante el proceso de elaboración de los lotes experimentales.

A mis padres, hermanos y en especial a mi marido David, por su apoyo incondicional, por su paciencia y por su ánimo de continuar siempre hacia adelante.

Gracias a todos.

INDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ABREVIATURAS	XVII

RESUMEN

RESUMEN	XXI
SUMMARY	XXIII

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción	3
-------------------------	---

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El sector cárnico: Tendencias de consumo	7
2.2. Productos ecológicos	10
2.3. Productos cárnicos cocidos: Jamón cocido	12
2.4. Tecnología del jamón cocido.	15
2.4.1. Materias primas cárnicas.	15
2.4.1.1. Descripción anatómica	16
2.4.1.2. Composición y estructura	18
2.4.1.3. Características tecnológicas	21
2.4.2. Ingredientes y aditivos	22
2.4.2.1. Agua	22
2.4.2.2. Sal (cloruro sódico)	23
2.4.2.3. Azúcares.	25
2.4.2.4. Nitritos	26
2.4.2.5. Antioxidantes.	31
2.4.2.6. Fosfatos	32
2.4.2.7. Estabilizantes y espesantes	34
2.4.2.8. Potenciadores del sabor	35
2.4.3. Proceso de fabricación	36

Índice

2.4.3.1. Acondicionamiento del pernil.....	37
2.4.3.2. Preparación de la salmuera.....	37
2.4.3.3. Inyección y tenderizado	38
2.4.3.4. Masajeado.....	40
2.4.3.5. Enmoldado.....	42
2.4.3.6. Cocción.....	43
2.4.3.7. Enfriamiento	45
2.4.3.8. Envasado y almacenamiento.....	45
2.5. Reducción del uso de nitritos	49
2.5.1. Limitaciones en el uso de nitritos	49
2.5.2. Estrategias para solventar las limitaciones del uso de nitritos.....	52
2.5.2.1. Reducción de agentes nitrosante y/o aminos nitrosadas	52
2.5.2.2. Alternativas al uso de los nitritos	58
2.6. Reducción del uso de fosfatos.....	65
2.6.1. Limitaciones en el uso de fosfatos.....	65
2.6.2. Alternativas al uso de fosfatos	65
2.6.2.1. Sustitución por otros compuestos	66
2.6.2.2. Aplicación de altas presiones hidrostáticas.....	73
III. OBJETIVOS	
3.1. Objetivos	79
IV. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL	
4.1. Plan de trabajo.....	83
4.2. Diseño experimental.....	84
4.2.1. Ensayo 1.1. Reducción de la concentración de nitritos	84
4.2.2. Ensayo 1.2. Reducción de la concentración de fosfatos	84
4.2.3. Ensayo 1.3. Reducción del periodo de maduración	86
4.2.4. Ensayo 2.1. Eliminación de nitritos.....	86
4.2.5. Ensayo 2.2: Eliminación del uso fosfatos	87
4.2.6. Ensayo 2.3: Eliminación de nitritos y fosfatos	89
4.2.7. Ensayo 3.1: Estudio de la vida útil.	90

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Material	93
5.1.1. Materias primas	93
5.1.2. Ingredientes y aditivos.....	95
5.1.3. Reactivos y soluciones químicas	95
5.2. Métodos.....	100
5.2.1. Elaboración de jamón cocido (procedimiento general)	100
5.2.1.1. <i>Elaboración de jamón cocido- Estudio de reducción de nitritos</i>	105
5.2.1.2. <i>Elaboración de jamón cocido- Estudio de reducción de fosfatos</i>	105
5.2.1.3. <i>Elaboración de jamón cocido- Estudio de reducción de la maduración</i> ...	106
5.2.1.4. <i>Elaboración de jamón cocido- Estudio de eliminación de nitritos</i>	107
5.2.1.5. <i>Elaboración de jamón cocido- Estudio de eliminación de fosfatos</i>	110
5.2.1.6. <i>Elaboración de jamón cocido- Estudio de eliminación de nitritos y fosfatos</i>	111
5.2.1.7. <i>Elaboración de jamón cocido- Estudio de vida útil</i>	112
5.2.2. Envasado y almacenamiento del jamón cocido	112
5.2.3. Toma de muestra	115
5.2.4. Cálculo de parámetros tecnológicos.	116
5.2.4.1. <i>Determinación del rendimiento</i>	116
5.2.4.2. <i>Determinación de la loncheabilidad</i>	117
5.2.5. Estudio de la microestructura	117
5.2.6. Análisis físico-químicos	118
5.2.6.1. <i>Determinación del pH</i>	118
5.2.6.2. <i>Determinación de la actividad de agua</i>	118
5.2.6.3. <i>Determinación del agua retenida</i>	119
5.2.6.4. <i>Determinación de la humedad</i>	119
5.2.6.5. <i>Determinación de proteínas</i>	120
5.2.6.6. <i>Determinación de la grasa</i>	121
5.2.6.7. <i>Determinación de las cenizas</i>	122
5.2.6.8. <i>Determinación del cloruro sódico</i>	122
5.2.6.9. <i>Determinación de nitrito residual</i>	123
5.2.6.10. <i>Determinación de nitrato residual</i>	124

5.2.6.11. Determinación de los fosfatos.....	125
5.2.6.12. Determinación de la oxidación lipídica.....	127
5.2.6.13. Determinación instrumental del color.....	128
5.2.6.14. Determinación instrumental de la textura.....	128
5.2.7. Análisis de las propiedades sensoriales con un panel de catadores.....	130
5.2.7.1. Perfil descriptivo.....	131
5.2.7.2. Prueba de aceptación.....	135
5.2.8 Análisis microbiológicos.....	137
5.2.8.1. Flora psicrotrofa.....	137
5.2.8.2. Flora anaerobia.....	137
5.2.8.3. Enterobacterias.....	138
5.2.8.4. Bacterias ácido lácticas (BAI).....	138
5.2.8.5. Mohos y levaduras.....	138
5.2.9. Análisis estadístico.....	138
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
6.1. Capítulo 1. Reducción de aditivos.....	143
6.1.1. Ensayo 1.1: Reducción de la concentración de nitritos.....	143
6.1.1.1. Efectos en el rendimiento, pH, a_w y AR.....	143
6.1.1.2. Efecto en la composición proximal.....	146
6.1.1.3. Efecto en el contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos.....	147
6.1.1.4. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*).....	148
6.1.1.5. Efecto en la textura (TPA).....	150
6.1.1.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados.....	152
6.1.1.7. Resumen.....	157
6.1.2. Ensayo 1.2: Reducción de la concentración de fosfatos.....	159
6.1.2.1. Efectos en el rendimiento, pH, a_w y AR.....	159
6.1.2.2. Efecto en la composición proximal.....	162
6.1.2.3. Efecto en el contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos.....	164
6.1.2.4. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*).....	165
6.1.2.5. Efecto en la textura (TPA).....	167
6.1.2.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados.....	168

6.1.2.7. Resumen.....	172
6.1.3. Ensayo 1.3: Reducción del periodo de maduración.....	174
6.1.3.1. Evolución del pH.....	174
6.1.3.2. Evolución del color (L^* , a^* y b^*).....	175
6.1.3.3. Cambios en la microestructura.....	177
6.1.3.4. Efectos en el rendimiento y el AR.....	182
6.1.3.5. Efecto en la textura (TPA).....	184
6.1.3.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados.....	184
6.1.3.7. Resumen.....	186
6.2. Capítulo 2. Eliminación de aditivos.....	187
6.2.1. Ensayo 2.1. Eliminación de nitritos.....	188
6.2.1.1. Efectos en el rendimiento, pH, a_w y AR.....	188
6.2.1.2. Efecto en la composición proximal.....	189
6.2.1.3. Efecto en el contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos.....	190
6.2.1.4. Efectos en el color (L^* , a^* , b^*).....	192
6.2.1.5. Efecto en la textura (TPA).....	193
6.2.1.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados.....	194
6.2.1.7. Resumen.....	197
6.2.2. Ensayo 2.2. Eliminación de fosfatos.....	198
6.2.2.1. Efecto en el rendimiento.....	198
6.2.2.2. Efecto en el pH.....	201
6.2.2.3. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*).....	202
6.2.2.4. Efecto en la textura (TPA).....	206
6.2.2.5. Loncheabilidad.....	208
6.2.2.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados.....	210
6.2.2.7. Resumen.....	217
6.2.3. Ensayo 2.3. Eliminación de fosfatos y nitritos.....	218
6.2.3.1. Efecto en el rendimiento y en el pH.....	218
6.2.3.2. Efecto en la humedad, a_w y AR.....	219
6.2.3.3. Efecto en el contenido en cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos.....	220
6.2.3.4. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*).....	221

Índice

6.2.3.5. Efecto en la textura (TPA)	222
6.2.3.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados	223
6.2.3.7. Resumen	226
6.3. Capítulo 3: Estudio de vida útil.....	227
6.3.1. Ensayo 3.1. Estudio de la vida útil del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales	227
6.3.1.1. Evolución de la microflora	227
6.3.1.2. Evolución del pH y de la a_w	231
6.3.1.3. Evolución del color (L^* , a^* , b^*).....	233
6.3.1.4. Evolución de la oxidación lipídica (TBARS)	236
6.3.1.5. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados.....	238
6.3.1.6. Resumen.....	243
VII. CONCLUSIONES	
7.1. Conclusiones	247
VIII. BIBLIOGRAFÍA	
8.1. Bibliografía	251

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del gasto que los españoles destinan al consumo de alimentos..... 7

Figura 2 Consumo de los diferentes tipos de carne realizado por los españoles. 7

Figura 3. Preocupaciones del consumidor europeo y español, sobre los riesgos relacionados con los alimentos. 10

Figura 4. Corte transversal de un pernil en el que se aprecian diferentes músculos y peso relativo de los principales músculos que conforman el pernil, referidos al pectíneo. 17

Figura 5. Representación esquemática del músculo esquelético. A. Sección transversal del músculo esquelético en la que se señala la localización del tejido conectivo: epimisio, perimisio, y endomisio. B. Sección longitudinal de una fibra muscular en la que se detalla la organización en sarcómeros de los constituyentes proteicos de una miofibrilla. 19

Figura 6. Estructura de la molécula de la mioglobina. 27

Figura 7. Pigmentos formados a partir de la mioglobina, mediante reacciones de óxido reducción y/o la adición de nitritos. 28

Figura 8. Transformación de la nitrosilmioglobina a nitrosilhemocromo durante el tratamiento térmico. 29

Figura 9. Diagrama de flujo para la elaboración de jamón cocido. 36

Figura 10. Molde regulable para el enmoldado del pernil. 42

Figura 11. Acondicionamiento de los perniles para la elaboración de jamón cocido. 94

Figura 12. Elaboración de la salmuera. 100

Figura 13. Inyección de la salmuera en una inyectora multiagujas. 101

Figura 14. Bombo de masajeado y perniles dentro del bombo. 102

Figura 15. Realización de vacío en el pernil en una amasadora-mezcladora. 102

Figura 16. Pernal dentro de un molde de acero inoxidable “tipo canario”. 103

Figura 17. Horno en el que se llevó a cabo la cocción. 103

Figura 18. Temperatura en el interior del horno y del producto durante la cocción. 104

Figura 19. Temperatura en el interior del horno y del producto en los diferentes programas de cocción utilizados en el Ensayo 2.1. 109

Figura 20. Equipo para la aplicación de altas presiones. 111

Figura 21. Preparación de las bandejas de jamón cocido loncheado. 113

Índice

Figura 22. Bandeja de jamón cocido loncheado envasado a vacío con una termoselladora.....	114
Figura 23. Temperaturas registradas en el interior del mural refrigerado durante 24 horas.....	114
Figura 24. Toma de muestra a lo largo del proceso de elaboración.....	115
Figura 25. Distribución de las muestras para las diferentes determinaciones analíticas. ...	116
Figura 26. Medida del pH por punción en tres puntos diferentes.	118
Figura 27. Recta de calibrado para la cuantificación de nitritos.	124
Figura 28. Recta de calibrado para la cuantificación de los fosfatos.	126
Figura 29. Medida del color con un espectrofotómetro.	128
Figura 30. Curva obtenida en un perfil de textura (TPA).....	129
Figura 31. Medida instrumental de la textura	130
Figura 32. Hoja de cata utilizada para realizar el perfil descriptivo del jamón cocido.	132
Figura 33. Hoja explicativa de los descriptores incluidos en el perfil descriptivo.....	133
Figura 34. Escalas fotográficas utilizadas en la valoración de la homogeneidad del color (escala A), de la intensidad de color (escala B) y de la ligazón (escala C).....	134
Figura 35. Cabina preparada para el análisis sensorial descriptivo.....	135
Figura 36. Hoja de cata utilizada para realizar la prueba de aceptación.....	136
Figura 37. Aspecto visual del jamón cocido elaborado con 150, 80 y 40 mg/kg de nitritos.....	154
Figura 38. Aspecto visual del jamón cocido elaborado con 2.000, 1.000 y 0 mg/kg de fosfatos.	171
Figura 39. Secciones longitudinales del músculo <i>Biceps femoris</i> de los pernils sin procesar (materia prima) y de los pernils inyectados, observadas por MET ($\times 10.000$ y $\times 20.000$).....	178
Figura 40. Secciones longitudinales del músculo <i>Biceps femoris</i> de los pernils después del proceso de masajeado y maduración (24, 48 y 72 horas) observados por MET ($\times 10.000$ y $\times 20.000$).....	180
Figura 41. Secciones longitudinales del músculo <i>Biceps femoris</i> de los jamones después del proceso de cocción, observados por MET ($\times 10.000$ y $\times 20.000$).	181
Figura 42. Aspecto visual del jamón cocido del Lote Control (80 mg/kg nitritos, 160 min), Lote Ext-A (2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min) y Lote Ext-B (15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min).....	196
Figura 43. Aspecto visual del jamón cocido loncheado de la Form. C (3.000 mg/kg citratos) y de la Form. SFC (sin fosfatos ni citratos) sometidos a los Tratamientos CO	

(con masajeado y sin APH), M-APH (con masajeado y APH) y SM-APH (sin masajeado y con APH). 211

Figura 44. Aspecto del jamón cocido elaborado con nitritos y fosfatos (Lote NF), extractos vegetales y fosfatos (Lote VF) y con extractos vegetales y citratos (Lote VC)..... 224

Figura 45. Jamón cocido loncheado de la Form. N al inicio del periodo de almacenamiento (día 0) y al final del periodo de almacenamiento (día 23 en luz y en oscuridad)..... 241

Figura 46. Jamón cocido loncheado de la Form. V, al inicio del periodo de almacenamiento (día 0) y al final del periodo de almacenamiento (día 15, en luz y día 23 en oscuridad) 242

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de productos ecológicos en Europa en 2006.	9
Tabla 2. Categorías comerciales del jamón cocido.	13
Tabla 3. Composición proximal del jamón cocido, según diversos autores.	15
Tabla 4. Diseño experimental utilizado en los diferentes ensayos realizados en la presente Tesis Doctoral.	85
Tabla 5. Diseño experimental utilizado en el estudio de eliminación del uso de nitritos.	87
Tabla 6. Diseño experimental utilizado en el estudio de eliminación del uso de fosfatos.	88
Tabla 7. Diseño experimental utilizado en el estudio de la eliminación de nitritos y fosfatos.	89
Tabla 8. Diseño experimental del estudio de la vida útil.	90
Tabla 9. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 1.1.	105
Tabla 10. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 1.2.	105
Tabla 11. Ciclos de masajeado y periodos de maduración en cada experimento.	106
Tabla 12. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 2.1.	107
Tabla 13. Programas de cocción utilizados en el Ensayo 2.1.	108
Tabla 14. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 2.2.	110
Tabla 15. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 2.3.	111
Tabla 16. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 3.1.	112
Tabla 17. Rendimiento, pH, a_w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitrito.	143
Tabla 18. Composición proximal (Media \pm SD), expresada en materia fresca, del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos.	146
Tabla 19. Contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos.	147
Tabla 20. Color (L^* , a^* , b^*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos.	149
Tabla 21. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitrito.	151
Tabla 22. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos, evaluadas por un panel de catadores entrenado.	153
Tabla 23. Rendimiento, pH, a_w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.	159

Tabla 24. Composición proximal (Media \pm SD) expresada en materia fresca, del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.....	163
Tabla 25. Contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.	164
Tabla 26. Color (L*, a*, b*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.	165
Tabla 27. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.	167
Tabla 28. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos, evaluadas por un panel de catadores entrenado.....	169
Tabla 29. Evolución del pH (Media \pm SD) en el músculo <i>Biceps femoris</i> durante el proceso de elaboración del jamón cocido con diferentes tiempos de maduración.	174
Tabla 30. Evolución del color (L*, a* y b*) (Media \pm SD) en el músculo <i>Biceps femoris</i> durante el proceso de elaboración del jamón cocido con diferentes tiempos de maduración.	176
Tabla 31. Rendimiento y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes periodos de maduración.	182
Tabla 32. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes periodos de maduración.	184
Tabla 33. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes periodos de maduración, evaluadas por un panel de catadores entrenado. ...	185
Tabla 34. Rendimiento, pH, a _w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.....	188
Tabla 35. Composición proximal (Media \pm SD), expresada en materia fresca, del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.	190
Tabla 36. Contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.....	191
Tabla 37. Color (L*, a*, b*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción. ...	192
Tabla 38. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción. ...	193

Tabla 39. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.....	195
Tabla 40. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el rendimiento (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.....	198
Tabla 41. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el pH (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.....	201
Tabla 42. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el color (L*, a*, b*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.....	203
Tabla 43. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en la textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.....	206
Tabla 44. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en la loncheabilidad del jamón cocido elaborado sin fosfatos.....	209
Tabla 45. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el aspecto visual, el olor y flavor evaluados sensorialmente (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.....	212
Tabla 46. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en los parámetros de textura evaluados sensorialmente y en la aceptabilidad global (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.....	215
Tabla 47. Rendimiento y pH (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.....	218
Tabla 48. Humedad, a_w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.....	219
Tabla 49. Contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.....	220
Tabla 50. Color (L*, a*, b*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.....	221
Tabla 51. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.....	222
Tabla 52. Características sensoriales del jamón cocido (Media \pm SD) elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes, evaluadas por un panel de catadores entrenado.....	223
Tabla 53. Evolución de la flora microbiana (log ufc/g) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V), durante su almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.....	228

Tabla 54. Evolución del pH y de la a_w (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V), durante su almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.	232
Tabla 55. Evolución del color (L^* , a^* y b^*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V) durante el almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.	234
Tabla 56. Evolución de los valores de TBARS (μg de malonaldehído/g) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V), durante el almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.	236
Tabla 57. Evolución de los parámetros sensoriales (Media \pm SD) evaluados con un panel de catadores durante el almacenamiento en refrigeración del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del elaborado con extractos vegetales (Form. V), bajo condiciones de luz u oscuridad.	239

ABREVIATURAS

a* : índice de rojo-verde.	HNO₂ : ácido nitroso.
ADD : agua destilada y desionizada.	H₂SO₄ : ácido sulfúrico.
AESAN : Agencia Española de Seguridad Alimentaria.	h : hora.
AICE : Asociación de Industrias de la Carne de España.	IAR : Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer.
ANOVA : análisis de la varianza.	ISO : Organización Internacional de Estandarización.
APH : altas presiones hidrostáticas.	kg : kilogramos.
AR : agua retenida.	kGy : kilogray.
a_w : actividad de agua.	l : litro.
b* : índice de amarillo-azul.	L* : luminosidad.
BAL : bacterias ácido lácticas.	log : logaritmo.
BOE : Boletín Oficial del Estado.	M : molar.
CRA : capacidad de retención de agua.	m² : metro cuadrado
CE : Comunidad Europea.	MAPA : Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
CEE : Comunidad Económica Europea.	MARM : Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
CG+C+ : cocos gram positivos, catalasa positivos.	Mb : Mioglobina.
cm : centímetro.	MbO₂-Fe²⁺ : oximioglobina.
cm² : centímetro cuadrado.	MbFe²⁺-NO : nitrosilmioglobina.
cm³ : centímetro cúbico.	MDA : ácido malonaldehído.
CO₂ : dióxido de carbono.	MET : microscopía electrónica de transmisión.
DFD : oscuras, firmes y secas.	MetMb-Fe³⁺ : metamioglobina.
DMb-Fe²⁺ : desoximioglobina.	min : minutos.
DOCE : Diario Oficial de la Comunidad Europea.	mg : miligramo.
DOUE : Diario Oficial de la Unión Europea.	ml : mililitros.
EFSA : Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria.	mm : milímetros.
Fe²⁺ : ión ferroso.	MPa : megapascuales.
Fe³⁺ : ión férrico.	N : newton.
FIAB : Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas.	NaCl : cloruro sódico.
g : gramo.	NaOH : hidróxido sódico.
ha : hectárea.	N₂ : nitrógeno.
hab : habitante.	NO : óxido nítrico.
HRd : agentes reductores.	N₂O₃ : trióxido de dinitrógeno.
	O₂ : oxígeno.
	°C : grado centígrado.

Índice

PA: para análisis.

PSE: pálidas, blandas, exudativas.

QP: químicamente puro.

rpm: revoluciones por minuto.

T^a: temperatura.

TBA: ácido tiobarbitúrico.

TBARS: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico.

TEP: tetraetoxipropano.

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

ufc: unidades formadoras de colonias.

WOF: warmed over flavor.

y **col.:** y colaboradores.

µg: microgramo.

µl: microlitros.

µm: micrómetros.

RESUMEN

RESUMEN

El objetivo de esta Tesis Doctoral fue la obtención de jamón cocido de alta calidad que pudiera ser calificado con la denominación genérica de calidad “Agricultura ecológica”. La legislación vigente que regula la producción ecológica no permite el uso de fosfatos y aunque permite el uso de 80 mg/kg de nitritos (DOUE, 2008), existe la intención de prohibir su uso. Dado el papel que estos aditivos juegan en la elaboración del jamón cocido, estas limitaciones podrían ser uno de los motivos por los que, hasta el momento, en el mercado español no exista jamón cocido ecológico a pesar de que es uno de los productos cárnicos más demandados.

Para la consecución de este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos parciales: 1.- obtener jamón cocido con un bajo contenido en nitritos y sin fosfatos, 2.- reducir el tiempo de elaboración del jamón cocido de alta calidad con un bajo contenido en aditivos, 3.- obtener jamón cocido de alta calidad sin la utilización de nitritos, mediante el empleo de extractos vegetales y la optimización del proceso tecnológico, 4.- obtener jamón cocido de alta calidad mediante la aplicación de altas presiones hidrostáticas o la utilización de otros aditivos, como alternativas a la utilización de fosfatos y 5.- estudiar la vida útil, en distintas condiciones de conservación, del jamón cocido elaborado con un bajo contenido en aditivos y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales. Para ello, a partir de 63 pernils procedentes de cerdos blancos ecológicos, se elaboraron diferentes lotes de jamón cocido experimental y se determinó el rendimiento del proceso y las características físico-químicas (pH, a_w , AR, composición proximal, contenido en ingredientes y aditivos, microestructura) y sensoriales (color -L*, a*, b*, textura – TPA, prueba descriptiva con un panel de catadores) del producto. En el estudio de vida útil, además de la evolución del pH, de la a_w y de L*, a*, b*, se evaluó a lo largo del periodo de almacenamiento la flora microbiana, la oxidación lipídica y se realizó una prueba de aceptación con catadores entrenados.

Desde el punto de vista de la reducción de aditivos, en la presente Tesis Doctoral se ha puesto de manifiesto que sólo es posible reducir la adición de nitritos desde 150 hasta 80 mg/kg, ya que la elaboración de jamón cocido con 40 mg/kg da lugar a un producto que no es aceptable sensorialmente. En cuanto a los

fosfatos, sólo es posible reducir su concentración hasta 1.000 mg/kg debido a que la eliminación total de estos aditivos implica la obtención de un jamón cocido con defectos tecnológicos que no presenta todas las características típicas de este producto. Asimismo, se ha observado que en la elaboración del jamón cocido con 80 mg/kg de nitritos y 1.000 mg/kg de fosfatos, un periodo de maduración de 24 horas es suficiente para el desarrollo de las características propias del producto.

En relación a los ensayos llevados a cabo para eliminar el uso de aditivos, la utilización de extractos vegetales (Ext-A) junto con un cultivo iniciador permite elaborar jamón cocido sin la adición directa de nitritos. En lo que respecta a la eliminación de fosfatos, el empleo de citrato sódico permite obtener jamón cocido con características similares al elaborado con fosfatos, aunque con un menor rendimiento. Sin embargo, mediante la aplicación de APH no se consigue suplir todas las acciones que ejercen los fosfatos, por lo que esta estrategia no es viable como alternativa al uso de fosfatos en la elaboración de jamón cocido. En cuanto a la eliminación conjunta de nitritos y fosfatos, el uso de extractos vegetales (Ext-A) y citrato sódico permite la obtención de jamón cocido ecológico, aunque con un menor rendimiento y ligazón.

Finalmente, los resultados obtenidos en el estudio de vida útil mostraron que tanto el jamón cocido elaborado con una reducida cantidad de nitritos y fosfatos, como el jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Ext-A) y un cultivo iniciador presentaban una vida útil similar, de 15 ó 23 días en función de si el producto se almacena en luz o en oscuridad, respectivamente.

SUMMARY

The objective of this Doctoral Thesis was to obtain high quality cooked ham that could be designated with the generic denomination quality “Organic Agriculture”. The current legislation that regulates the organic production does not allow the use of phosphates and although the use of 80 mg/kg of nitrite is allowed (DOUE, 2008), there is the intention of forbidding its use. Given the role that these additives play in the manufacture of cooked ham, these limitations could be one of the reasons why, so far, in the Spanish market there is no organic cooked ham, despite that cooked ham is one of the most demanded meat products.

To achieve this overall objective, the following partial objectives were set out: 1.-to obtain cooked ham with a low amount of nitrites and without phosphates, 2.- to reduce the time of the manufacture of high quality cooked ham with a low amount of additives, 3.-to obtain high quality organic cooked ham without the use of nitrites through the use of vegetable powder and the optimization of the manufacture process, 4.-to obtain organic high quality cooked ham using the application of high hydrostatic pressure or other additives as an alternative to the use of phosphates, 5.-to study the shelf life in different storage conditions of the cooked ham manufactured with a low content of additives or with vegetable powder. For that purpose, different experimental batches of cooked ham were manufactured using 63 pork legs from organic white pigs, and the yield of the process and the physical-chemical (pH, a_w , AR, proximal composition, content of ingredients and additives, microstructure) and sensory characteristics of the product (colour- L^* , a^* , b^* , texture-TPA, descriptive test with trained tasters) were evaluated. In the shelf life study the evolution of pH, a_w , L^* , a^* and b^* , the microbial flora and the lipid oxidation were evaluated and an acceptance test was performed with trained tasters throughout the period of storage.

From the point of view of the reduction of additives, it was observed that it is only possible to reduce the content of the nitrite from 150 mg/kg up to 80 mg/kg, since the manufacture of cooked ham with 40 mg/kg gives rise to a product which is not sensorily acceptable. With regard to phosphates, it is only possible to reduce its concentration up to 1.000 mg/kg, because of the total elimination of these additives involves obtaining cooked ham with technological faults that does not

show all the typical characteristics of this product. Likewise, it was observed that in the manufacture of cooked ham with 80 mg/kg of nitrites and 1.000 mg/kg of phosphates, a maturation period of 24 hours is enough for the development of the characteristics of cooked ham.

Concerning to trials carried out to eliminate the use of additives, the use of vegetable powder (Ext-A) and a starter culture allow to manufacture cooked ham without the direct addition of nitrites. As far as the removal of phosphates is concerned, the use of sodium citrate allows to obtain cooked ham with similar characteristics to cooked ham manufactured with phosphates, although with a lower yield. However, through the application of APH, it is not possible to replace all actions that phosphates do. As regards to the joint elimination of nitrites and phosphates, the use of vegetable powder (Ext-A) and sodium citrate allow to obtain organic cooked ham, although with lower yield and lower connection among the muscles of cooked ham.

Finally, the results obtained in the shelf life study showed that cooked ham manufactured with a reduced amount of nitrites and phosphates and the cooked ham manufactured with vegetable powder (Ext-A) and a starter culture had a similar shelf life, 15 or 23 days, depending on whether the product is stored in light or dark, respectively.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La presente Tesis Doctoral se enmarca 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*”. La temática de la Tesis que se presenta y, en general, la del mencionado proyecto se ha concebido y desarrollado como respuesta a las demandas del sector cárnico de Castilla y León.

Las empresas tienen la necesidad de cubrir los deseos del consumidor y de diferenciarse de sus competidores. Esta necesidad actúa sobre la innovación, dirigiéndola a la obtención de productos que cubran las expectativas de los consumidores y, simultáneamente, proporcionen mejoras perceptibles en sus productos. En este sentido, en el mercado europeo se ha producido un aumento en la producción ecológica debido a que los productos procedentes o relativos a la producción ecológica presentan una calidad diferenciada que responde a las demandas de los consumidores en cuanto a calidad y respeto al medioambiente. Sin embargo, en España el número de productos cárnicos ecológicos comercializados es muy reducido, siendo llamativo el hecho de que no exista jamón cocido ecológico, dado que este producto es uno de los más consumidos en España.

La legislación vigente que regula la producción ecológica no permite el uso de fosfatos y, aunque permite el uso de 80 mg/kg de nitritos (DOUE, 2008), existe la intención de prohibir su empleo. Dado el papel que estos aditivos juegan en la elaboración del jamón cocido, estas limitaciones podrían ser uno de los motivos por los que, hasta el momento, en el mercado español no exista jamón cocido ecológico. Los fosfatos se utilizan debido a que aumentan tanto la cohesión muscular como la capacidad de retención de agua del producto (Keenan y col., 2010). Los nitritos no sólo son los responsables del desarrollo del color típico rosado de los productos cocidos, sino que además tienen efecto antimicrobiano y antioxidante (Honikel, 2008).

1. Introducción

Como alternativa al uso de fosfatos se ha estudiado el empleo de enzimas (transglutaminasa, trombina), proteínas, alginatos o carragenatos; sin embargo, en la producción ecológica estos compuestos no están permitidos. Por ello, es necesario el estudio de otras estrategias como el uso de citrato sódico (por su capacidad para aumentar el pH y, por tanto, la capacidad de retención de agua) o la aplicación de un tratamiento de altas presiones hidrostáticas (ya que favorece la solubilidad de las proteínas miofibrilares que participan en la cohesión muscular) que podrían evitar los defectos de textura derivados de la no utilización de fosfatos.

Respecto a la adición de nitritos, se han realizado diversos estudios con objeto de buscar otros compuestos que participen en la formación y estabilización del color característico que presentan los productos cárnicos en los que se añaden estos aditivos. Se ha evaluado la formación del pigmento responsable del color en ausencia de nitritos (formación de nitrosilmioglobina a través de cultivos iniciadores utilizando o no una fuente natural de nitratos) y la adición de pigmentos sintetizados fuera de la matriz cárnica (adición de nitrosilhemocromo o colorantes naturales). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en estos estudios y la legislación, el uso de extractos vegetales (reservorio natural de nitratos) junto con un cultivo estárter con actividad nitrato reductasa (Sindelar, 2007) parece la mejor alternativa. No obstante, la inclusión de estos extractos podría modificar las características sensoriales del producto, por lo que es necesario optimizar el proceso de elaboración de los mismos.

Una vez desarrolladas las diferentes estrategias para la reducción de los nitritos y la eliminación de los fosfatos, es necesario el estudio de la vida útil de los productos obtenidos ya que, debido a la acción antimicrobiana que presentan estos aditivos, la conservación de los mismos podría verse afectada.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL SECTOR CÁRNICO. TENDENCIAS DE CONSUMO

El sector de la carne y los productos cárnicos es uno de los sectores con mayor participación en el patrón alimentario de los españoles, como lo demuestra el hecho que de los 81.369 millones de euros que alcanzó el gasto alimentario en España, en el año 2010, un 23,1% correspondió a la carne y derivados cárnicos (Figura 1), muy por encima de los otros sectores principales de productos que conforman la cesta de la compra (FIAB, 2010).

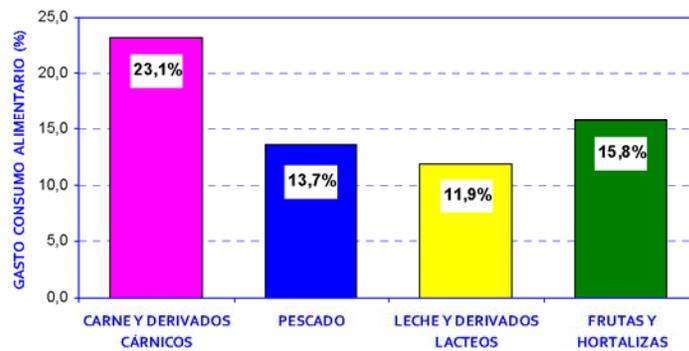


Figura 1. Distribución del gasto que los españoles destinan al consumo de alimentos. (Elaborado a partir de datos de la FIAB, 2010).

Según datos del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM 2008a), la carne de pollo y de porcino y los elaborados cárnicos son los más consumidos por los españoles (Figura 2). A su vez, dentro de la carne de porcino, el 89,1% corresponde al consumo de carne de cerdo blanco (MARM, 2010b).

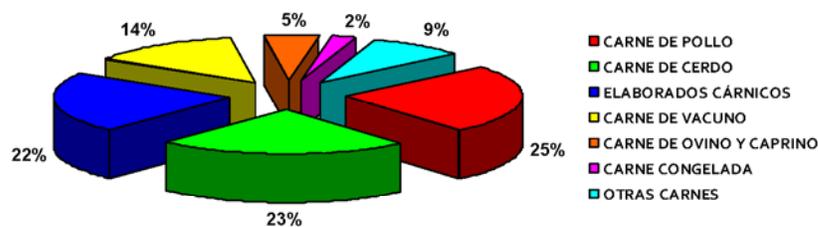


Figura 2. Consumo de los diferentes tipos de carne realizado por los españoles. (Elaborado a partir de datos del MARM, 2008a).

2. Revisión Bibliográfica

A lo largo de los últimos años, la producción de elaborados cárnicos en España ha incrementado pasando de 887.000 toneladas en el año 1998, a 1.251.000 toneladas en el año 2009 (AICE, 2009). Dentro de los elaborados cárnicos, los **productos tratados por calor**, conocidos como productos cocidos, constituyen el principal grupo con un volumen de producción del 52% del total de la producción (AICE, 2009). De este 52%, el 18,5% corresponde a la producción de fiambres, el 16% a la de jamón y paleta cocida, el 12,5% a la de salchichas cocidas y el 5,5% a la de patés. Estos productos han tenido un desarrollo notable debido tanto a que su elaboración es independiente de factores climáticos y de factores de mercado, como a que su venta es inmediata y no precisa inmovilización de capital.

Paralelo al aumento de la producción de elaborados cárnicos, se ha producido una diversificación en las formas de presentación de los mismos. Los cambios en los modelos familiares, laborabilidad, etc. han hecho que la población cada vez se decante más por productos que se comercializan con formatos listos para consumir (Vandendriessche, 2008). En este sentido, los **productos cárnicos loncheados** están ya muy asentados en el mercado y constituyen la oferta estrella con incrementos anuales del 12,5% y grandes perspectivas de mantener esta tendencia (López, 2011). En países de nuestro entorno como Francia y Portugal, los loncheados constituyen ya el 75% de todas las ventas cárnicas.

Por otro lado, el sector cárnico también se ha visto afectado por las demandas de la sociedad actual en relación a otros aspectos como la nutrición, la salud y el bienestar. En Europa, a partir de los años 90, el creciente interés de la población por el binomio alimentación-salud, ha hecho aumentar la demanda de productos más saludables, con un bajo contenido en aditivos o sin la utilización de los mismos. Además, se ha incrementado la preocupación por cuestiones relativas a la conservación del patrimonio natural y de la biodiversidad, y existe una creciente importancia de la tradición, como valor añadido de los productos alimentarios, denominaciones de origen y especialidades tradicionales (MARM, 2009b). En este sentido, en el mercado europeo se ha producido un aumento en la **producción ecológica** (MARM, 2009b), ya que los productos procedentes o relativos a la producción ecológica presentan una calidad diferenciada que responde perfectamente a las demandas de los consumidores en cuanto a calidad y respeto al medioambiente.

En España, la superficie destinada a la agricultura ecológica es de 1.674.119 ha (MARM 2010c), lo que la sitúa entre los primeros países productores de Europa. En relación a las explotaciones ganaderas ecológicas, en el año 2009, se censaron 4.547 explotaciones, de las cuales fueron mayoritarias las de vacuno (46%) y las de ovino (26%) (MARM, 2009a). En el sector porcino, el número de explotaciones ecológicas fue bajo (3%) y la producción de carnes y productos cárnicos supuso un 17,5% de las actividades industriales ecológicas (MARM, 2009a,b).

A pesar de que España es uno de los mayores productores de materias primas ecológicas, el mercado interior de productos ecológicos es muy bajo. Así, se exporta el 70% de la producción ecológica nacional y tan sólo se utiliza el 30% en el consumo interno (MARM, 2008b). En comparación con el resto de países europeos, España presenta el menor consumo (en €) de productos ecológicos por hab./año, estando éste muy por debajo de la media europea (Tabla 1).

Tabla 1. Consumo de productos ecológicos en Europa en 2006 (MARM, 2009b).

Datos 2006	Consumo hab./año (€)	Cuota mercado
Austria	89	5,3%
Bélgica	27	1,9%
Dinamarca	106	6
Francia	30	1,2
Alemania	64	3,1
Italia	32	--
Holanda	30	2
España	13	0,7
Suecia	53	3
Suiza	105	4,6
Gran Bretaña	42	1,6
Total Europa	27	--

El consumidor español asocia los productos ecológicos con alimentos naturales, más saludables, elaborados sin aditivos ni colorantes (MARM, 2010a). Sin embargo, como se ha indicado, su consumo es menor que en el resto de Europa. Este hecho podría ser debido a una diferente concepción de los riesgos asociados a los alimentos por parte del consumidor español. Así, según las encuestas realizadas por la EFSA (Eurobarómetro, 2010), en España, la preocupación por la calidad y la frescura de los alimentos es mayor que en el resto de Europa, mientras que la preocupación por los riesgos asociados a la utilización de aditivos en los alimentos es menor (Figura 3).

2. Revisión Bibliográfica

QF4. Para cada una de las siguientes cuestiones, indique si está usted muy preocupado/a, bastante preocupado/a, o nada preocupado/a

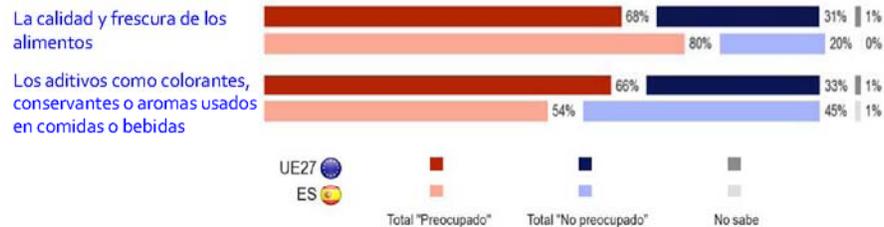


Figura 3. Preocupaciones del consumidor europeo y español, sobre los riesgos relacionados con los alimentos (Eurobarómetro, 2010).

Por otro lado, en España, el consumo de productos ecológicos está fuertemente condicionado por la existencia de importantes obstáculos, como son su elevado precio y el escaso desarrollo de industrias transformadoras (MARM, 2009a, 2010a). Así, por ejemplo, en relación a los productos cárnicos cocidos, no se han encontrado datos estadísticos que reflejen la existencia de productos cárnicos cocidos ecológicos en el mercado español. 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 este tipo de productos en España.

2.2. PRODUCTOS ECOLÓGICOS

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 son los fertilizantes (Wringht y McCrea, 2002). Por ello, inicialmente el consumo de productos ecológicos se asociaba con el consumo de vegetales, pero en los años 90, cambió el perfil del comprador medio de productos ecológicos, comenzándose a demandar la carne y los productos cárnicos ecológicos (Maunder y Kennard, 2002).

El primer grupo de normas ecológicas fue establecido por la Soil Association en 1974, siendo estas normas la base del “Reglamento 2092/91 de la Unión Europea del Consejo de 24 de Junio de 1991, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios” (DOCE, 1991). Este Reglamento sobre producción ecológica ha sido modificado a lo largo de estos años, adaptándose a las nuevas necesidades y a la demanda del consumidor por este tipo de productos. En la actualidad, el “Reglamento (CEE) N° 834/2007 de 28 de junio de 2007” (DOUE, 2007a) y el “Reglamento (CE) N° 889/2008 de 5 de septiembre de 2008” (DOUE, 2008), en el que se establecen disposiciones de aplicación del reglamento (CE) N° 834/2007 son las normas que regulan la producción ecológica.

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” (Reglamento (CE) n° 834/2007, DOUE, 2007a).

Conforme a la legislación vigente, 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 de utilizarse tratamientos preferentemente a base de medicamentos fitoterapéuticos u homeopáticos, limitando al máximo la utilización de productos medicinales alopáticos de síntesis química.

2. Revisión Bibliográfica

En la elaboración de **productos ecológicos** al menos el 95% de los ingredientes utilizados deben de ser de origen ecológico, permitiéndose, en aquellos casos que sea necesario, la utilización de un 5% de compuestos de origen no ecológico (DOUE, 2008). Así, en la elaboración de 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. Por otro lado, se permite utilizar minerales, vitaminas, aminoácidos y micro nutrientes en aquellos alimentos en los que la normativa haga obligatorio su empleo.

Dentro de los ingredientes de origen no ecológico se incluyen también determinados aditivos. Se permite la utilización de nitratos (E-252) o nitritos (E-250), en una concentración máxima de 80 mg/kg, de modo que la cantidad residual de estos compuestos en el producto final sea como máximo 50 mg/kg expresada como NaNO_3 y NaNO_2 , respectivamente. Otros aditivos permitidos en la elaboración de productos cárnicos ecológicos son el ácido ascórbico (E-300), el ascorbato sódico (E-301) en combinación con el nitrato y/o nitrito, el ácido láctico (E-270) y el citrato de sodio (E-331). Además, se pueden utilizar goma de garrofin (E-410), goma guar (E-412), goma arábiga (E-414) y goma xantana (E-415). Finalmente, respecto al uso de gases, se pueden utilizar el dióxido de carbono (E-290), el argón (E-938), el helio (E-939), el nitrógeno (E-941) y el oxígeno (E-948).

2.3. PRODUCTOS CÁRNICOS COCIDOS: JAMÓN COCIDO

Según 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” (BOE, 1981).

Hasta el momento, dentro de los productos cárnicos tratados por calor, el jamón cocido, la paleta cocida, el magro de cerdo y el fiambre de jamón, paleta y magro de cerdo son los únicos productos que tienen una regulación específica, estando legislados por 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” (BOE, 1983, 1984). En dicha norma se definen estos productos como aquellos “que se preparan a partir de piezas de carne identificables, correspondientes al despiece total o parcial de los miembros posteriores de cerdos aptos para el consumo, excluyéndose la carne triturada o picada, que se somete a un tratamiento térmico suficiente para lograr la coagulación de las proteínas cárnicas y que envasado asegurará que el producto se mantenga inalterado en condiciones normales de almacenamiento y conservación”.

El **jamón cocido** es el producto que se obtiene mediante la inyección en el pernil de una salmuera formada por agua, ingredientes y aditivos, y su posterior masajeado, cocción y enfriado. En cuanto a **categorías y denominaciones comerciales** para el jamón cocido se distinguen (BOE, 1983):

- categoría extra, que lleva la denominación “jamón cocido extra”,
- categoría primera, que lleva la denominación “jamón cocido I”.

En la Tabla 2 se muestran las características que ha de presentar el jamón cocido para pertenecer a una de estas categorías. Puede observarse que está prohibida la adición de proteínas y limitado el contenido en fosfatos totales, y que la diferencia entre categorías radica en la relación humedad/proteína, en el contenido de azúcares totales y en la concentración de agar, alginatos o carragenatos que se empleen en la elaboración de los mismos. La relación humedad/proteína es indicativa del porcentaje de agua utilizada en la elaboración de estos productos, y por tanto de su calidad. El contenido de azúcares totales, de agar-agar, alginatos, carragenatos y fosfatos se controla porque su uso puede afectar al contenido acuoso del producto.

Tabla 2. Categorías comerciales del jamón cocido (BOE, 1983).

	Categoría extra	Categoría primera
Relación humedad/proteína	4,13	4,68
Azúcares totales (máximo)	1,5%	2,0%
Proteínas añadidas	ausencia	ausencia
Agar-Agar, alginatos y carragenatos	0,2%	0,5%
Fosfatos totales	7.500 mg/kg	7.500 mg/kg

2. Revisión Bibliográfica

Es importante hacer notar que algunos de los parámetros que se utilizan para categorizar el jamón cocido, plantean problemas en la interpretación analítica de los resultados. Así, el contenido acuoso es función del contenido graso del producto, de manera que el porcentaje de humedad será mayor cuanto menor grasa contenga. Por otro lado, no existe una metodología analítica internacionalmente aceptada que determine si las proteínas son cárnicas o añadidas. Por último, en el caso de los fosfatos, la determinación analítica oficial no permite diferenciar los fosfatos presentes en la carne de forma natural, de los fosfatos añadidos.

Por todo ello, con objeto de solucionar estos problemas y actualizar las normas de calidad, la Administración, diferentes asociaciones de industrias cárnicas y centros tecnológicos trabajan en la elaboración de un borrador de “Norma de calidad para productos cárnicos” (MARM, 2011) que sustituya a las normas existentes. En dicho borrador se establecen los requisitos de composición y categorización de los productos cárnicos tratados por calor, considerándose el contenido de proteínas libres de colágeno como el parámetro más idóneo para la evaluación del contenido y calidad de las proteínas. Además, se incluye el control del almidón, para el que se contempla ausencia /presencia y contenido máximo de utilización, ya que es un ingrediente característico de los fiambres.

En relación a la **composición proximal** del jamón cocido, los estudios realizados por diversos autores indican que este producto presenta entre 65,7-76,5% de humedad, 8,8-25,1% de proteína, 1,0-7,6% de grasa y entre 2,8-4,3% de cenizas (Tabla 3).

Es preciso indicar que la variabilidad en la composición química proximal del jamón cocido, puede ser atribuida tanto a las características de la materia prima como al proceso tecnológico. Así, la utilización de pernils procedentes de animales sacrificados a diferente edad, con una alimentación diferente y/o una genética distinta, afecta a la calidad de la carne de partida y por tanto, a la de los productos obtenidos (García-Rey, 2004). Por otro lado, la utilización de diferentes porcentajes de inyección de salmuera, de diferentes concentraciones de aditivos o la realización de diferentes tipos de cocción, pueden dar lugar a variaciones en el porcentaje de humedad y ceniza en el producto final.

Tabla 3. Composición proximal del jamón cocido, según diversos autores.

	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)
López y col. (2001)	73,9	10,02	3,4	---
Desmond y Kenny (2005)	71,7-73,2	22,2-22,5	2,1-3,4	---
Cheng y col. (2005)	65,7-71,7	21,5-24,6	1,7-2,1	---
Dimitrakopoulou y col. (2005)	71,5-73,1	23,4-25,1	1,9-2,8	---
Frontela y col. (2006)	70,7-74,7	---	5,5-2,7	---
Cheng y Sun (2006)	72,3-74,2	20,7-22,8	1,4-1,5	2,8-3,1
Cheng y Sun (2007)	71,5-73,9	21,9-23,1	1,7-1,8	2,6-3,2
Válková y col. (2007)	---	8,8-14,9	1,6-4,0	3,1-3,8
Fernández-Ramírez y col. (2008)	72,9-76,5	12,1-18,4	1,2-7,6	---
Rubio y col. (2009)	72,8-75,1	17,1-19,7	1,0-4,4	2,9-4,3

El jamón cocido comercializado en España presenta un 73,3-75,1% de humedad, un 17,1-18,9% de proteína, un 1,0-2,9% de grasa, un 3,3-4,3% de cenizas (Rubio y col., 2009) y un contenido de 1,7-2,0% de cloruro sódico (Rubio y col., 2009). Por tanto, desde el **punto de vista nutricional**, puede decirse que tiene un alto contenido de proteínas, un bajo contenido en grasa, lo que hace que su consumo sea adecuado para todos los grupos de edad, recomendándose en dietas hipocalóricas.

Finalmente, respecto a las **características sensoriales**, el jamón cocido se caracteriza por presentar un color rosado, un aroma típico, una consistencia tierna y jugosa, con escasa cantidad de tejido graso intramuscular y un sabor suave y condimentado (López y col., 2001).

2.4. TECNOLOGÍA DEL JAMÓN COCIDO

2.4.1. Materias primas cárnicas

Las materias primas esenciales para la elaboración de jamón cocido son piezas de carne procedentes del despiece total o parcial de los miembros posteriores del ganado porcino, separados como máximo del resto del costado de la semicanal en un punto no anterior al extremo del hueso de la cadera, excluyéndose expresamente las carnes trituradas o picadas (BOE, 1983). En aquellos casos en los que se

pretende elaborar un jamón cocido de alta calidad se utiliza el pernil entero, con todos los músculos que lo conforman.

En el jamón cocido, al igual que en el resto de productos cárnicos, la composición, la estructura y las características tecnológicas de la materia prima están estrechamente relacionadas con los parámetros que determinan la calidad del producto final. Así, los músculos del pernil utilizados para la elaboración de jamón cocido y los cambios que tienen lugar en su estructura durante el procesado del mismo determinan las propiedades físico-químicas y sensoriales del jamón cocido. Por otro lado, en la elección de los perniles destinados a la elaboración de jamón cocido se debe tener en cuenta el pH y la carga microbiológica inicial de la materia prima de partida.

2.4.1.1. Descripción anatómica

Las extremidades posteriores del cerdo las componen los huesos coxal, fémur, rótula, tibia, peroné, tarsos, metatarso y falanges así como las masas musculares insertas en los mismos, la grasa de cobertura y la piel. Una vez seccionadas por la sínfisis isquiopubiana constituyen los denominados perniles que, para la elaboración de jamón cocido, son descortezados, deshuesados y pulidos, quedando las masas musculares correspondientes a los músculos *biceps femoris*, *tensor fasciae latae*, *gluteus superficialis*, *medius* y *profundus*, *semitendinosus*, *semimembranosus*, *sartorius*, *pectineus*, *gracilis*, *quadratus femoris*, *obturatorius externus* e *internus*, *gemellus*, *quadriceps femoris* (compuesto por el *rectus femoris*, el *vastus lateralis*, el *vastus intermedius* y el *vastus medialis*), *extensor digitorum longus* y *lateris*, *fibrularis lentius*, *tibialis cranialis*, *triceps surae*, *popliteus*, *flexor digitorum superficialis* y *profundus* y la grasa subcutánea de cobertura (Sisson y Grossman, 1982; Olmos, 2006).

La estructura de la masa muscular del pernil es bastante compleja ya que, al disponer de una anatomía integrada por numerosos músculos con pesos relativos diferentes, presenta fibras musculares de grosores variables que siguen direcciones diferentes, por lo que ofrece aspectos muy diversos en los cortes transversales realizados a niveles diferentes de la pieza (Bello, 2008a). En la Figura 4 se muestra un corte transversal del pernil así como el peso relativo de los principales músculos que lo conforman. Puede observarse que los músculos que representan un mayor

porcentaje del pernil son el bíceps femoral, seguido del semimembranoso, los vastos, el semitendinoso, el glúteo medio y el recto femoral (Olmos, 2006).

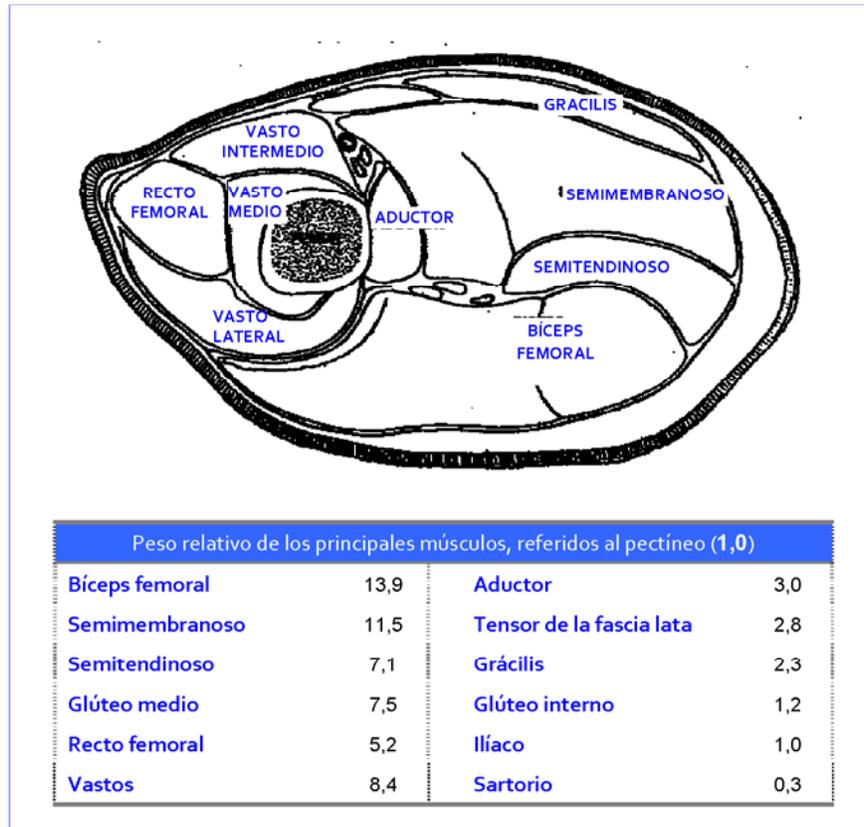


Figura 4. Corte transversal de un pernil en el que se aprecian diferentes músculos (Ordóñez, 2001) y peso relativo de los principales músculos que conforman el pernil, referidos al pectíneo (Olmos, 2006).

Es importante indicar que cada músculo presenta propiedades fisiológicas y bioquímicas particulares, por lo que, las características sensoriales del producto final varían en función de los músculos utilizados para la elaboración del jamón cocido y de la zona muscular que se evalúe.

Diversos estudios han puesto de manifiesto que las diferencias existentes entre músculos, en relación a propiedades específicas del metabolismo, contenido de pigmentos y microestructura, influyen en las características sensoriales de los

productos cárnicos (Westphalen y col., 2006). El tipo de músculo es uno de los factores que más influye en el color ya que los diferentes músculos presentan una variabilidad natural en el contenido en pigmentos (Xargayó y col., 2009), que depende del número y tipo de fibras musculares presentes en el mismo (Forrest y col., 1979). En relación a la textura, se ha observado que las proteínas miofibrilares de diferentes músculos de cerdo, se comportan de manera diferente y dan lugar a la formación de geles con distinta consistencia durante la cocción (Westphalen y col., 2006). También se ha indicado que los músculos que presentan una velocidad de desarrollo mayor, como el semimembranoso, suelen estar formados por haces de fibras musculares más grandes que otros músculos, como el semitendinoso, lo que influye en la textura del producto (Lawrie, 1977). Por último, indicar que la diferente localización anatómica de los músculos implica diferencias en el contenido y tipo de grasa, lo que podría determinar diferencias en la concentración de los compuestos responsables del olor y sabor (López-Bote, 1992).

2.4.1.2. *Composición y estructura*

El tejido muscular del cerdo contiene aproximadamente un 72% de su peso en agua, un 18% de proteínas, un 6,7% de lípidos, un 1,6% de sustancias solubles no proteicas, un 0,7% de sales minerales y 0,3% de carbohidratos (Bello, 2008b). El agua se encuentra en diferentes formas: ligada, de interfase, libre e inmovilizada. Las proteínas pueden dividirse en tres categorías en función de su solubilidad: proteínas sarcoplasmáticas (30-35%), proteínas miofibrilares (50-55%), que son las proteínas estructurales que forman las miofibrillas, y proteínas del estroma (proteínas del citoesqueleto y colágeno) (10-20%) (Feiner, 2006). Dentro de las sustancias solubles no proteicas se incluyen compuestos como la creatinina, carnosina, anserina, IMP, nucleótidos y algunos aminoácidos (Bello, 2008b). Entre los minerales se incluyen sodio, potasio, magnesio, calcio, zinc, fósforo, etc.

A nivel estructural, el músculo esquelético tiene una organización compleja (Figura 5A). Está cubierto por una capa de tejido conectivo, que recibe el nombre de epimisio, que mantiene unida la estructura interna, donde se agrupan las fibras musculares formando haces. A su vez, las fibras musculares están rodeadas por una capa de tejido conectivo denominado perimisio y se encuentran separadas unas de otras por una envoltura de tejido conjuntivo denominado endomisio, constituido fundamentalmente por colágeno (González y col., 2009).

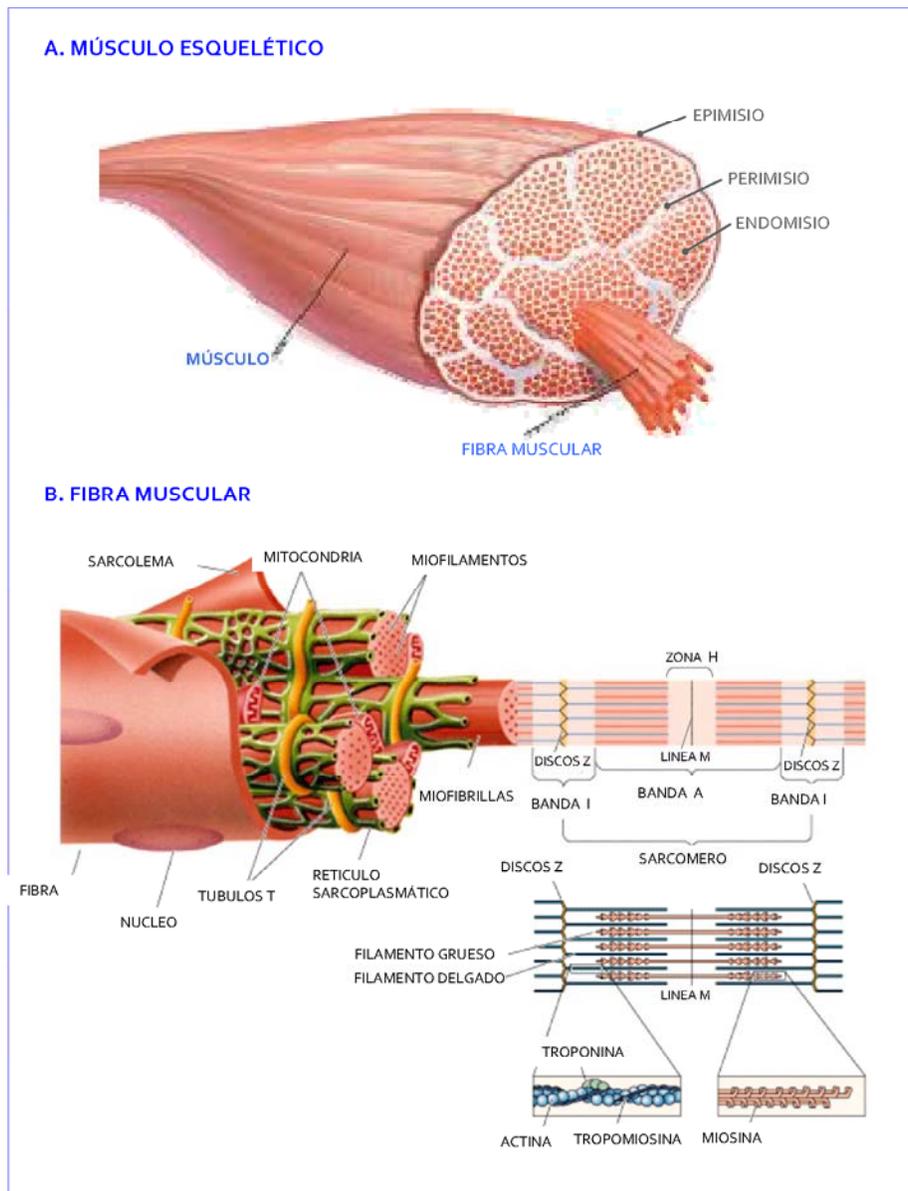


Figura 5. Representación esquemática del músculo esquelético. A. Sección transversal del músculo esquelético en la que se señala la localización del tejido conectivo: epimisio, perimisio, y endomisio. B. Sección longitudinal de una fibra muscular en la que se detalla la organización en sarcómeros de los constituyentes proteicos de una miofibrilla. (Basado en Lluch y col., 2001).

En cada fibra muscular (Figura 5B) se pueden distinguir las siguientes partes:

- Sarcolema o membrana celular. Es la superficie externa de la fibra muscular y está compuesta por tres capas: el tejido conjuntivo (endomisio), una capa intermedia amorfa y la membrana plasmática interna. El sarcolema emite con periodicidad invaginaciones tubulares que penetran profundamente en el sarcoplasma. Estos túbulos envuelven las miofibrillas y forman el sistema tubular T.
- Sarcoplasma. En él se halla un amplio retículo endoplásmico que en la fibra muscular se denomina retículo sarcoplásmico. Este retículo presenta una organización especial de gran importancia en el control de la contracción muscular.
- Mitocondrias musculares, que suministran la energía necesaria para la contracción.
- Miofibrillas o elementos estructurales para la contracción, cuyas proteínas se denominan miofibrilares. Las miofibrillas presentan un diámetro de 1-2 μm y están ordenadas longitudinalmente conformando el aparato contráctil del músculo (Charley, 1987). Las miofibrillas están compuestas por subestructuras que reciben el nombre de miofilamentos y se disponen en el músculo esquelético formando estrias transversales características, donde se alternan zonas oscuras (bandas A) con zonas claras (bandas I) que es lo que le confiere el carácter estriado al músculo (Charley, 1987). En el centro de las bandas I se observan perpendicularmente a la dirección de las fibras, los discos Z, de color más oscuro. Del mismo modo, por el centro de las bandas A oscuras están las zonas H, que son más claras y en cuya mitad se encuentra a su vez, una línea oscura que recibe el nombre de línea M. Entre dos discos Z consecutivos está la unidad contráctil de la fibra muscular, que se denomina sarcómero y está constituida por filamentos gruesos y delgados. Los filamentos gruesos, que están formados por la proteína miosina, se extienden a lo ancho de las bandas A. Los filamentos delgados están constituidos fundamentalmente por actina y se prolongan desde los discos Z, a través de la banda I, hasta el límite de la zona H, en la banda A (Ham, 1970).

2.4.1.3. Características tecnológicas

En la elaboración de jamón cocido, la aptitud tecnológica de las materia primas está determinada por varios factores como el valor de pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y la carga microbiana.

Para que una carne sea adecuada para la elaboración de productos cárnicos cocidos debe presentar una CRA alta, para minimizar los efectos asociados al tratamiento térmico (López de Torre y col., 2001). Durante la cocción se aplican temperaturas elevadas y la carne tiende a perder jugo, experimenta pérdidas de peso, cambios en la textura y pierde nutrientes hidrosolubles, fundamentalmente vitaminas y minerales.

El pH de la materia prima de partida permite predecir la CRA de la carne y, por tanto, su aptitud para el tratamiento térmico y la capacidad de conservación del producto final ya que a pH elevados se favorece el crecimiento de los microorganismos (López y col., 2001). En general, tras el desarrollo del *rigor mortis*, 24 horas después del sacrificio, el pH de la carne oscila entre 5,4-6,2. Sin embargo, en algunas ocasiones, durante el desarrollo del *rigor mortis* se produce una evolución anormal del pH que da lugar a la obtención de carnes de menor calidad. Cuando se produce una caída rápida del pH post-mortem y el pH a las 24 horas después del sacrificio es menor que 5,6 se obtienen carnes “pálidas, blandas y exudativas”, denominadas PSE. En aquellos casos en que la caída del pH es retardada y 24 horas después del sacrificio el pH es mayor que 6,2, se obtienen carnes “oscuras, firmes y secas”, denominadas DFD (Durand, 2002).

Para la elaboración de productos cárnicos cocidos, el pH del pernil debe estar entre 5,8 y 6,2, ya que con estos valores de pH la carne presenta una CRA adecuada, que permite obtener un mayor rendimiento y un jamón cocido con una consistencia blanda y jugosa (Reichert, 1988).

En aquellos casos en que se utilizan carnes con un pH_{24} de partida menor de 5,8 se obtienen jamones de consistencia reseca y estoposa y la pérdida de peso durante la cocción es mayor debido a la baja CRA que presentan (López y col., 2001). El hecho que estos perniles presenten una menor CRA es debido a que a pH menores que 5,8 la carga de las proteínas cárnicas se acerca a su punto isoeléctrico, en el que no hay cargas eléctricas y por tanto, no hay atracción por las moléculas de agua (López de Torre y col., 2001). Por otro lado, una baja CRA implica que los

diferentes grupos de músculos no estén bien ligados, lo que da lugar a la aparición de oquedades ya que la salmuera que queda retenida en el interior del pernil tras la inyección, se evapora durante la cocción, dejando huecos (Álvarez, 1996).

Si la carne de partida es DFD, se obtienen resultados positivos en el rendimiento y en la jugosidad del jamón cocido (López y col., 2001). Al aumentar el pH se incrementa la carga eléctrica de las proteínas, lo que permite establecer enlaces dipolo-dipolo con las moléculas de agua, siendo mayor la cantidad de agua retenida (López de Torre y col., 2001). Sin embargo, hay que tener en cuenta que un pH alto puede implicar efectos negativos sobre la conservación, ya que favorece el crecimiento de determinados microorganismos alcalófilos, como las bacterias ácido lácticas, que provocan decoloraciones en el jamón y consecuentemente, un deterioro de la calidad organoléptica del producto final (Peirson y col., 2003).

Por último, indicar que debido a que el tratamiento térmico utilizado en la cocción de los productos cárnicos cocidos (68-72°C) no es lo suficientemente elevado para esterilizar el producto, la carga microbiológica inicial de la materia prima debe estar dentro de los límites establecidos en la legislación vigente (Reglamento CE 1441/2007, DOUE, 2007b) y en las guías dadas como referencia por diferentes organismos nacionales e internacionales. Una carga microbiana inicial elevada puede dar lugar a un posible riesgo sanitario y a una disminución de la vida útil en el producto terminado.

2.4.2. Ingredientes y aditivos

En la elaboración de jamón cocido es habitual el uso de agua, cloruro sódico, azúcar, nitritos, antioxidantes (ascorbato sódico), fosfatos, estabilizantes y espesantes y potenciadores del sabor.

2.4.2.1. Agua

El agua representa alrededor del 85% de la composición de la salmuera. La función principal del agua es disolver los distintos ingredientes o aditivos que se utilizan en la elaboración de los productos cocidos. Además, el agua aporta un suplemento de peso en el producto final, contribuye a la ligazón y atenúa el calentamiento durante la elaboración de la salmuera (Marcos, 1989), de ahí la importancia de que su temperatura esté en torno a 4-7°C (López y col., 2001).

El agua empleada en la elaboración de los productos cárnicos cocidos tiene que ser potable y, por lo tanto, cumplir los requisitos químicos y bacteriológicos establecidos en la legislación vigente (Real Decreto 140/2003, BOE, 2003). En relación a su composición, es importante que su contenido en metales no sea elevado ya que la presencia de hierro, cobre, etc. puede dar lugar a la formación de sales coloreadas que alteren el color del producto final (Fox, 1994).

2.4.2.2. Sal (cloruro sódico)

El cloruro sódico es uno de los ingredientes habitualmente empleados en la elaboración de productos cárnicos ya que su uso es fundamental tanto desde el punto de vista tecnológico como en la conservación del producto final.

Desde el punto de vista tecnológico, el cloruro sódico además de proporcionar el sabor salado, potencia el olor y el sabor de los productos cárnicos, confiriéndoles un flavor característico (Ruusunen y Puolanne, 2005). Además, influye en la CRA y en la textura que presentan los productos cárnicos cocidos ya que favorece la solubilización y extracción de las proteínas miofibrilares (Ruusunen y Puolanne, 2005).

La contribución del cloruro sódico al sabor de los productos va a depender de la cantidad que se emplee en su elaboración, aunque una misma concentración de cloruro sódico en diferentes productos no aporta la misma sensación de sabor salado. Esto se debe a que factores intrínsecos del producto como la grasa o los complejos formados entre los iones cloruro⁻ y las proteínas disminuyen el grado de sabor salado (Armenteros, 2010).

En relación a la CRA, en la carne, la mayoría del agua se encuentra retenida por fenómenos de capilaridad entre los miofilamentos de las fibras musculares, que están formados principalmente por actina y miosina (Xiong, 2005). Cuando en la elaboración de los productos cárnicos se utiliza cloruro sódico se produce un aumento de la fuerza iónica del medio y el ión cloruro, procedente del cloruro sódico, puede unirse a los grupos positivos de las proteínas, dando lugar a un aumento de la carga neta negativa de las mismas. Como consecuencia se producen fenómenos de repulsión entre las proteínas miofibrilares, lo que provoca 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

2. Revisión Bibliográfica

agua por medio de fuerzas de Van der Waals, lo que contribuye a un aumento de la CRA (Ruusunen y col., 2005).

El efecto que el cloruro sódico 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. Durante el proceso de cocción, las proteínas miofibrilares extraídas mediante la utilización de cloruro sódico y otros compuestos sufren procesos de desnaturalización, coagulación y reorganización, dando lugar a un entramado proteico en forma de gel, que contribuye a la ligazón entre los músculos en el producto final. La estructura de este entramado proteico es la responsable de la textura del producto final (Durand, 2002; Ruusunen y col., 2005).

Por último, la acción conservadora del cloruro sódico es debida a que disminuye la actividad de agua (a_w) y, en consecuencia, la multiplicación de los microorganismos. La acción del cloruro sódico en la a_w se basa en la reducción de la concentración de agua y en el cambio de presión de vapor que tiene lugar cuando se disuelve en la misma (Comaposada y col., 1998).

Es preciso indicar que en los productos cárnicos cocidos el papel del cloruro sódico como agente bacteriostático está limitado ya que para la elaboración de los mismos se añaden concentraciones de cloruro sódico de 1,8 a 2%, que son inferiores a las cantidad de cloruro sódico necesaria (3,5%) para inhibir el crecimiento de determinados patógenos (Martín, 2002). Por otro lado, teniendo en cuenta que el cloruro sódico es la mayor fuente de sodio en la dieta y que el consumo de sodio está relacionado con la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Ruusunen y col., 2005), en la actualidad, se tiende a limitar su uso.

Ruusunen y col. (Ruusunen y col., 2003a; Ruusunen y col., 2005; Ruusunen y Puolanne, 2005) han realizado diversos estudios con objeto de disminuir el uso de cloruro sódico en la elaboración de productos cárnicos, reemplazándolo parcial o totalmente por otros compuestos. Estos autores han indicado que, en la elaboración de salchichas cocidas, se puede reducir la concentración de NaCl mediante el empleo de una mezcla de cloruro de sodio, potasio y magnesio o con la utilización de 1,4% de cloruro de sodio junto con citrato trisódico, carragenatos y carboximetil celulosa. En la elaboración de jamón cocido, Frye y col. (1986) indicaron que la

sustitución de un 50% del cloruro de sodio por un 50% de cloruro de potasio también permitía la obtención de jamón cocido con unas características sensoriales aceptables. En relación al empleo de cloruro de potasio, Weiss y col. (2010) han indicado que en los productos cárnicos, es preciso tener en cuenta la concentración a utilizar, ya que esta sal les puede conferir un sabor amargo, que los haría inaceptables desde el punto de vista sensorial.

2.4.2.3. Azúcares

Los azúcares participan en el desarrollo de las características organolépticas del jamón cocido ya que a la temperatura a la que se realiza la cocción participan en reacciones de Maillard junto con las proteínas, dando lugar a la formación de compuestos coloreados y aromáticos (Durand, 2002). Por otro lado, los azúcares ejercen un efecto beneficioso en la conservación por ser depresores de la a_w .

Entre los distintos tipos de azúcar que se pueden utilizar en la elaboración del jamón cocido se encuentran la sacarosa, la dextrosa y el jarabe de glucosa (López y col., 2001). La **sacarosa** se utiliza en concentraciones máximas de 0,8-0,9% ya que a concentraciones superiores da lugar a la aparición de un sabor dulce anómalo. La **dextrosa** presenta un menor poder edulcorante que la sacarosa y una mayor presión osmótica en solución, por lo que su acción como depresor de la a_w es mejor que la sacarosa. En el producto final se pueden alcanzar concentraciones de dextrosa del orden del 3%, sin afectar negativamente al sabor del mismo. Sin embargo, al ser un monosacárido simple de digestión directa para los microorganismos su utilización puede implicar efectos negativos. La presencia de dextrosa en el producto puede acelerar el crecimiento de bacterias ácido lácticas, lo que no solo acorta la conservación del producto, si no que además, da lugar a problemas de acidez por la formación de ácido láctico. Para solventar este problema se pueden usar **jarabes de glucosa**, que son mezclas obtenidas por hidrólisis de almidones, en los que el componente mayoritario es la dextrosa (30-60%), se utilizan porque son menos atacables por los microorganismos y más económicos.

Según la legislación vigente, la dosis máxima de azúcares que se puede añadir en la elaboración del jamón cocido es de 20.000 mg/kg pernil (BOE, 1984). En el caso de la producción ecológica, se permite la utilización de azúcar siempre que sea de origen ecológico (DOUE, 2008). También se permite el empleo de fructosa como ingrediente de origen no ecológico (DOUE, 2008).

2.4.2.4. 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 éstos ejercen. Los nitritos contribuyen al desarrollo del color, inhiben el crecimiento de bacterias, principalmente anaeróbicas, como *Clostridium botulinum*, actúan como antioxidantes y son responsables del flavor típico 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 dan lugar a óxido nítrico (NO) que es el responsable del desarrollo del color (Hönikel, 2004). Según Shahidi y Samaranyaka (2004), en medio ácido se establece un equilibrio entre la sal ionizada y el ácido nitroso (HNO₂), que depende del pH de la solución:



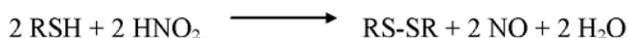
Al pH normal de la carne este equilibrio se desplaza hacia el HNO₂ que da lugar al trióxido de dinitrógeno (N₂O₃):



En presencia de agentes reductores (HRd) como el ácido ascórbico o el ascorbato, grupos reductores endógenos o determinados compuestos de los tejidos musculares, a partir del N₂O₃ se puede formar óxido nítrico (NO):



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



En cualquier caso, el NO formado va a reaccionar con la mioglobina de la carne dando lugar a los pigmentos responsables del color en los productos cárnicos.

La mioglobina (Mb) es la principal proteína responsable del color de la carne y de los productos cárnicos, aunque la intensidad de este atributo está determinada por la cantidad y la forma química molecular de la misma. 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 (Figura 6). 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).

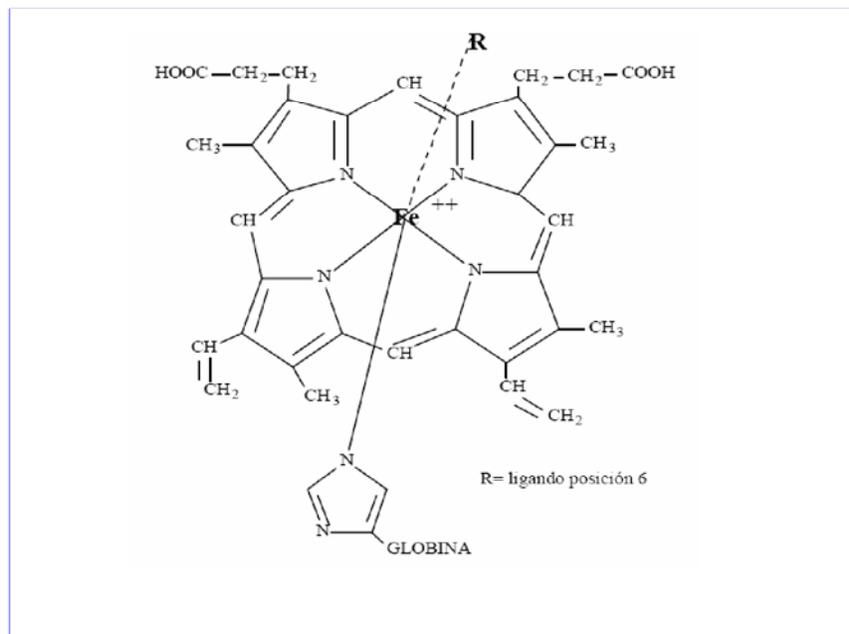


Figura 6. Estructura de la molécula de la mioglobina (Cornforth, 1994).

En la carne, cuando el hierro se encuentra en estado ferroso (Fe^{2+}) la forma química de la Mb es la desoximioglobina (DMb-Fe^{2+}) de color púrpura, que en

2. Revisión Bibliográfica

presencia de oxígeno da lugar a la formación de oximioglobina ($\text{MbO}_2\text{-Fe}^{2+}$), de color rojo brillante. En el caso de que se produzca la oxidación del hierro a estado férrico (Fe^{3+}) se forma la metamioglobina (MetMb-Fe^{3+}), de color marrón (Figura 7). Estas tres formas de la mioglobina (DMb-Fe^{2+} , $\text{MbO}_2\text{-Fe}^{2+}$, MetMb-Fe^{3+}) 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 7).

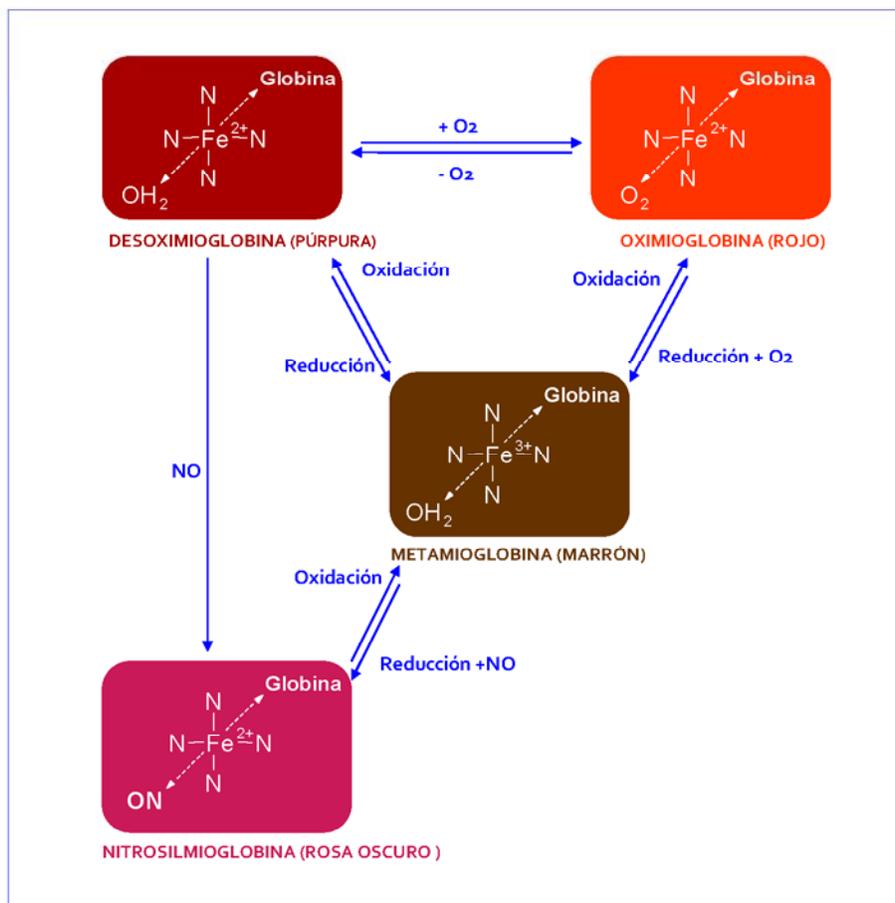


Figura 7. Pigmentos formados a partir de la mioglobina, mediante reacciones de óxido reducción y/o la adición de nitritos. (Basado en Ventanas y col., 2004 a).

Cuando se utilizan nitritos en la elaboración de productos cárnicos, el NO formado va a reaccionar con el hierro de la desoximioglobina y de la metamioglobina para formar el pigmento nitrosilmioglobina ($MbFe^{2+}-NO$) responsable del color rojo (Cassens y col., 1979; Adamsen y col., 2006; Sebránek y Bacus, 2007a).

En el caso de los productos cárnicos cocidos, el empleo de temperaturas elevadas determina la transformación de la nitrosilmioglobina en el pigmento nitrosilhemocromo (Figura 8), que es el responsable del color rosado de los productos cocidos (Ventanas y col., 2004a). 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, 2002).

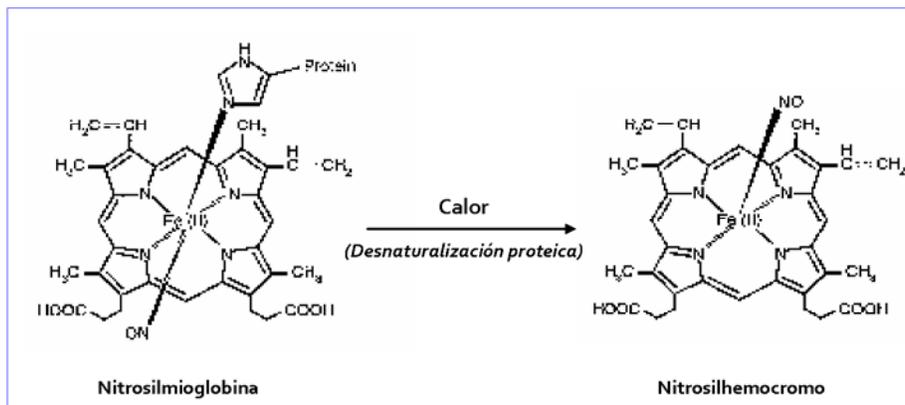


Figura 8. Transformación de la nitrosilmioglobina a nitrosilhemocromo durante el tratamiento térmico. (Basado en Bard y Townsend, 1978).

Un uso inadecuado de los nitritos, por exceso o defecto en la concentración utilizada, puede dar lugar a la aparición de coloraciones anómalas pardo-verdosas. Una cantidad de nitritos insuficiente provocaría en los productos cocidos la presencia de colores poco intensos, blanquecinos, que no son del agrado del consumidor. Además, si en la elaboración de productos cárnicos cocidos no se

2. Revisión Bibliográfica

emplean nitritos, no tendría lugar la formación del color rosa característico de los mismos, presentando el jamón cocido un color marrón. El uso de altas concentraciones de nitritos puede dar lugar a defectos por la formación de un pigmento porfirínico nitrificado de color verde, que se degrada a porfirinas oxidadas de color pardo, amarillo o decoloradas. La presencia de estas coloraciones, se conoce como “iridiscencia” y se observan cuando el nitrito se añade en concentraciones de 300 mg/kg (Fox, 1994).

El **efecto antibacteriano** que presenta el nitrito depende de numerosos factores, entre los que destacan el pH, la temperatura, el potencial de óxido reducción, la presencia de ascorbato o la contaminación microbiológica inicial (Ventanas y col., 2004a). Se desconoce con exactitud los mecanismos exactos por los que los nitritos ejercen este efecto. Algunos autores han propuesto que el ácido nitroso y/o el óxido nítrico podrían ser los responsables de su efecto inhibitorio sobre los microorganismos (Tompkin, 2005). Otros autores han indicado que el propio nitrito podría ser el responsable de inhibir el crecimiento de *C. botulinum* mediante el secuestro de hierro y otros metales esenciales para el metabolismo de este microorganismo (Payne y col., 1990) o mediante la interferencia con compuestos presentes en la membrana, limitando así el intercambio celular y el transporte de sustratos a través de ésta (Ventanas, 2004a).

El **efecto antioxidante** que el nitrito ejerce en los productos cárnicos es debido a la capacidad que presenta este compuesto para reaccionar con las proteínas del grupo hémico y con los metales, incluido el hierro libre (Pegg y Shahidi, 2000). El hierro Fe^{2+} presente en los compuestos hemínicos es un compuesto prooxidante y cuando el nitrito reacciona con dichos compuestos para formar pigmentos estables, el hierro queda retenido en éstos en su forma reducida Fe^{3+} de manera que no puede actuar catalizando reacciones de oxidación (Price y Schweigert, 1987). Por otro lado, determinados compuestos derivados del nitrito, como es el óxido nítrico, presentan actividad antioxidante debido a su actividad para secuestrar oxígeno (Honikel, 2008).

Respecto al efecto que el nitrito ejerce en el **desarrollo del flavor**, no se ha identificado ningún compuesto aromático específico responsable del desarrollo del aroma y el sabor. 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 como consecuencia de la interacción del nitrito con diferentes compuestos de la carne (Gray y col., 1981). Además, cuando se utilizan nitritos se disminuye la formación de los compuestos característicos del flavor de la carne cocida, como son los compuestos carbonilos (aldehídos, cetonas, ésteres y lactosas) (Martín, 2002).

Finalmente, indicar que los niveles de nitritos a utilizar en la elaboración de productos cárnicos están regulados legislativamente tanto en productos convencionales como ecológicos. En la elaboración de jamón cocido, la adición de nitritos (E-249, E-250) está limitada a 150 mg/kg (BOE, 2007). En la producción ecológica, además de la cantidad de nitritos que se adiciona, se controla la cantidad de nitrito residual en el producto acabado. En el caso del jamón cocido ecológico, la cantidad máxima de nitritos que se puede añadir es de 80 mg/kg, siendo la cantidad máxima residual de 50 mg/kg (DOUE, 2008).

2.4.2.5. Antioxidantes

La oxidación lipídica es una de las principales causas del deterioro de la carne y de los productos cárnicos, ya que da lugar a la formación de peróxidos que se transforman en compuestos volátiles, como hidrocarburos, aldehídos, cetonas, etc., que ejercen un efecto negativo sobre el color y el sabor de los productos cárnicos (Monahan, 2002). Por ello, para mejorar la estabilidad oxidativa de los productos cárnicos, es común el uso de antioxidantes artificiales o naturales.

En la elaboración de jamón cocido, los antioxidantes artificiales más utilizados son los ascorbatos, y entre ellos el L-ascorbato de sodio que es un potente reductor (López y col., 2001). Estos antioxidantes ejercen un efecto positivo en la estabilidad del color ya que aceleran la conversión de la metamioglobina y del nitrito a mioglobina y óxido nítrico respectivamente, actuando como agentes reductores o suprimiendo la reacción inversa (Conforth, 1994). Además, pueden actuar sinérgicamente con los tocoferoles que se encuentran de forma natural en la carne, restringiendo así la formación de peróxidos (Dougall y col., 1975).

Los antioxidantes artificiales pueden ser sustituidos por antioxidantes naturales, en forma de extracto vegetal o como aceite esencial, siendo las propiedades antioxidantes mayores en aquellos que contienen compuestos fenólicos (Rodríguez y col., 2009; Yao y col., 2010). Diversos estudios han puesto de manifiesto el

2. Revisión Bibliográfica

efecto antioxidante de las semillas de algodón (Rhee y col., 2001), el té verde (Mitsumoto y col., 2005), el extracto de uva (Mielnik y col., 2006; Carpenter y col., 2007; Selani y col., 2011), el romero, el orégano y la melisa (Sasse y col., 2009; Lara y col., 2011) en la elaboración de diferentes productos cárnicos. En el caso del extracto de uva se ha observado una actividad antioxidante similar a algunos antioxidantes artificiales, como el butil hidroxitolueno y el eritorbato sódico (Selani y col., 2011) o el propil galato (Sasse y col., 2009), tanto en la elaboración de productos cárnicos crudo-curados como cocidos. Por otro lado, los estudios realizados por Lara y col. (2011) han indicado que cuando se emplea extracto de romero en la elaboración de productos cárnicos cocidos, éste presenta un efecto antioxidante superior (90,7%) que el del butil hidroxitolueno (76,3%).

El uso de antioxidantes está regulado legislativamente en función del tipo de producto y del tipo de antioxidante a utilizar (artificial o natural). En el caso del jamón cocido, el ácido ascórbico (E-300), el ascorbato sódico (E-301) y el ascorbato cálcico (E-302) pueden añadirse según el principio *quantum satis* (BOE, 2002). En los antioxidantes naturales, hasta el momento solo se ha regulado el uso del extracto de romero (E-392) cuyo uso se permite en la elaboración de productos cárnicos en una concentración máxima de 150 mg/kg grasa (BOE, 2011). En la producción ecológica, los antioxidantes sólo se pueden utilizar cuando no exista ninguna alternativa tecnológica que garantice las características específicas de los productos cárnicos (DOUE, 2008). En el caso del ácido ascórbico y del ascorbato sódico, su empleo en la producción ecológica solo se permite cuando se añaden nitritos (DOUE, 2008).

2.4.2.6. Fosfatos

Los fosfatos se emplean en la industria cárnica por sus efectos positivos en la CRA y en la textura, ya que favorecen la extracción y la solubilización de las proteínas miofibrilares y son buenos estabilizadores de las emulsiones cárnicas (Palacios, 2003). Además, retardan la rancidez oxidativa, participan en la estabilidad del color característico de los productos cocidos y actúan como protectores frente al crecimiento microbiano (Ünal y col., 2006).

Los fosfatos **umentan la CRA** en el producto final debido a que inducen cambios en el pH y en la fuerza iónica, que favorecen la quelación de iones metálicos como el calcio y el magnesio (Palacios, 2003). La acción quelante de los

fosfatos sobre el calcio y el magnesio debilita los enlaces de estos metales con las proteínas, favoreciendo la expansión de la estructura cuaternaria de las mismas y, en consecuencia, aumentado el área de hidratación de las mismas (López y col., 2001). 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 durante la cocción) suele ser tanto mayor cuanto menos compacta sea esta estructura terciaria o cuaternaria. Freixanet (2010) para facilitar la comprensión de este fenómeno indicó, a modo de símil, que las proteínas en la carne estarían como una esponja comprimida, debiendo permitirse que la esponja se expanda para que sea capaz de retener agua, lo que se consigue rompiendo el mayor número posible de enlaces. 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 (Palacios, 2003; Ruusunen y Puolanne, 2005) con el que presentan un efecto sinérgico debido a que el cloruro sódico también disminuye los enlaces electrostáticos, aumentando la fuerza iónica del medio. En este sentido, Ruusunen y Puolanne (2005) observaron que cuando se añadían fosfatos en la elaboración de salchichas cocidas se podía reducir el contenido de cloruro sódico un 0,3-0,5%.

Los fosfatos favorecen la **solubilización y extracción de las proteínas miofibrilares** responsables de la ligazón intermuscular que presenta el jamón cocido. En el transcurso del *rigor mortis*, las proteínas miofibrilares, actina y miosina, se encuentran en el músculo de la carne unidas mediante puentes de calcio formando el complejo actino-miosina que es insoluble (Durand, 2002). Durante la elaboración de productos cárnicos, los fosfatos añadidos disocian el complejo actino-miosina, 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). Todo ello favorece la integridad de las lonchas en los productos cocidos (Reichert, 1988).

En relación al **efecto beneficioso que los fosfatos ejercen frente la oxidación** indicar que los polifosfatos quelan metales, como el hierro y el níquel, catalizadores de las reacciones de oxidación-reducción. De modo similar, 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, 2002).

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 este sentido, los estudios realizados por Vaquero-Martín y col. (2009) indicaron que, durante el almacenamiento de lomo de cerdo cocido, los recuentos microbianos eran mayores cuando en su elaboración no se empleaban fosfatos.

Los fosfatos que se utilizan en la elaboración de productos cárnicos son sales de sodio o de potasio de los ácidos polifosfóricos, difosfatos (E-450), trifosfatos (E-451) o polifosfatos (E-452). En el jamón cocido los más utilizados son los tri y polifosfatos de sodio debido a su mayor solubilidad (Durand, 2002).

La cantidad de fosfatos a utilizar en la elaboración de productos cárnicos está regulada legislativamente. En el caso de la elaboración de jamón cocido, la cantidad máxima de fosfatos que se permite añadir es de 5.000 mg/kg (BOE, 2002). Por otro lado, teniendo en cuenta que los fosfatos son componentes de la carne y se encuentran en la misma, en forma de pentóxido de difósforo, en una concentración de 4.500-5.000 mg/kg (Flores, 2001), el contenido máximo total permitido de fosfatos que el jamón cocido puede presentar es de 7.500 mg/kg (BOE, 1983). En el caso de los productos cocidos ecológicos no está permitido el uso de fosfatos (DOUE, 2008).

2.4.2.7. *Estabilizantes y espesantes*

Los estabilizantes y espesantes son compuestos macromoleculares que se utilizan para consolidar el estado físico de un alimento, ya que estabilizan suspensiones y emulsiones, retienen agua, son ligantes y tienen capacidad para formar complejos con las proteínas (Doublier y col., 2000). Estos aditivos pueden ser proteínas, polisacáridos o lípidos, de origen animal o vegetal (Marcos, 1989; Durand, 2002).

En la elaboración de productos cárnicos, los estabilizantes y espesantes más utilizados son los alginatos y los carragenatos (López y col., 2001). Los alginatos (E-400) se extraen de las algas pardas y son polisacáridos formados por cadenas lineales de ácidos D-manurónico y L-glucurónico (Freixanet, 2010). Los carragenatos (E-407), procedentes de algas rojas, son polisacáridos formados por cadenas lineales de galactosa con diversos grados de sulfatación que determinan distintas fracciones (Kappa-, Lambda- y Iota-carragenatos) (Freixanet, 2010). Las mezclas comerciales de carragenatos suelen estar constituidas por distintas proporciones de estas tres fracciones complementadas con pequeñas proporciones de gomas y alguna sal, normalmente cloruro potásico.

En la elaboración del jamón cocido, los carragenatos son los más usados por su capacidad para retener agua, siendo la cantidad máxima permitida de 0,5% (BOE, 1983). En los productos cárnicos ecológicos no está permitido el uso de carragenatos y alginatos (DOUE, 2008).

2.4.2.8. 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 no está nada claro. Por un lado parece ser que actúan directamente sobre las terminaciones nerviosas haciéndolas especialmente sensibles a los sabores, pero por otro lado se puede comprobar que no tienen efecto alguno sobre los cuatro sabores de base (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. En el caso del jamón cocido se usa en cantidades que oscilan entre 200 y 1.000 mg/kg de producto terminado, siendo la cantidad máxima de glutamato monosódico que se puede utilizar en la elaboración de dicho producto de 2.000 mg/kg (BOE, 1983). En la elaboración de productos cárnicos ecológicos el uso de glutamato monosódico no está permitido (DOUE, 2008).

2.4.3. Proceso de fabricación

El diagrama de flujo del proceso de elaboración del jamón cocido se muestra en la Figura 9. A continuación se detallan cada una de las etapas de este proceso.

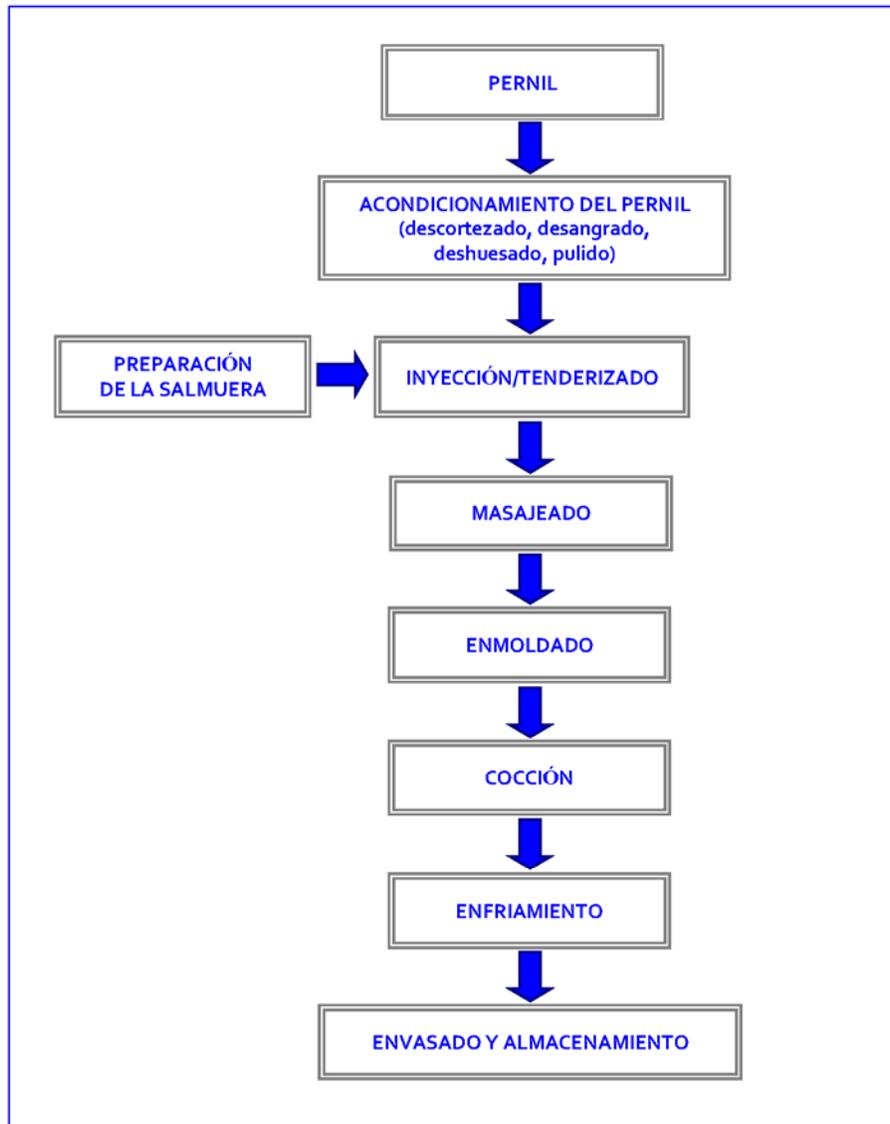


Figura 9. Diagrama de flujo para la elaboración de jamón cocido.

2.4.3.1. Acondicionamiento del pernil

La primera etapa en la elaboración del jamón cocido consiste en el acondicionamiento del pernil mediante su descortezado, desangrado, deshuesado y el pulido, operaciones que generalmente se realizan de manera manual (López de Torre y col., 2001).

El descortezado se realiza con objeto de eliminar la mayor cantidad de grasa y tejido conjuntivo. El desangrado consiste en la evacuación de la sangre de los vasos sanguíneos del pernil, para evitar la aparición posterior de manchas o coágulos de sangre.

El deshuesado manual consiste en la extracción del hueso partiendo de la porción residual de la pelvis. En primer lugar se extrae el fémur, seguidamente la rótula, la tibia y finalmente el peroné. Esta técnica de deshuesado se denomina “a jamón cerrado” y en ella se intenta mantener la integridad de la masa muscular lo máximo posible. Existe otra técnica de deshuesado manual, que se denomina “a jamón abierto”, en la que el hueso se extrae efectuando una incisión longitudinal a lo largo de la línea anterior de la cara interna de la cadera. En cualquier caso, el deshuesado se realiza sin romper los diferentes músculos que componen el pernil, eliminando tendones, grasa, fascias y aponeurosis, con el fin de que en el producto final los músculos estén bien ligados y que el jamón cocido presente una textura adecuada y un buen aspecto al corte (Luzón y Martín, 2001).

Finalmente, mediante el pulido se elimina la grasa y el tejido conjuntivo intermuscular, lo que favorece la cohesión entre los diferentes músculos del jamón cocido. Al romper el tejido conjuntivo se facilita la liberación de las proteínas hacia el exterior de los músculos, las cuales coagulan durante el proceso de cocción favoreciendo la ligazón entre los distintos músculos que componen el jamón (Reichert, 1988).

2.4.3.2. Preparación de la salmuera

En función de los ingredientes utilizados, la salmuera que se inyecta en el pernil puede ser simple, es decir que sólo contiene agua y sal, o mixta, cuando se incluyen además otros ingredientes y aditivos (Luzón y Martín, 2001).

En la preparación de la salmuera, para evitar problemas de solubilidad y para que todos y cada uno de los ingredientes y aditivos que se emplean cumplan con su

finalidad, es muy importante añadirlos en un determinado orden. Así, en el caso en el que se utilicen fosfatos se recomienda solubilizarlos primero en agua fría, a continuación se debe añadir el cloruro sódico, seguido de los azúcares junto con los carragenatos, después los nitritos y, finalmente, a la mezcla anterior se le añaden los antioxidantes (López y col., 2001). Al añadir los distintos ingredientes siguiendo un determinado orden se evita que los diferentes compuestos que forman parte de la salmuera interactúen entre sí de manera anticipada, así por ejemplo el nitrito y el ascorbato, si se añaden juntos dan lugar a la formación de óxido de nitrógeno, lo que provoca su descomposición prematura en la salmuera (López y col., 2001).

Indicar también que, tanto desde el punto de vista tecnológico como microbiológico, es fundamental que la salmuera se prepare y se utilice en el mínimo tiempo posible, manteniendo la temperatura de la misma por debajo de 5°C (López y col., 2001).

2.4.3.3. Inyección y tenderizado

La inyección es el proceso por el cual en el interior de la pieza cárnica se introduce, de forma regular y homogénea, una determinada cantidad de salmuera. Por tanto, mediante dicho proceso se introducen en la carne los ingredientes y/o aditivos responsables de los cambios físico-químicos que tendrán lugar durante las siguientes etapas tecnológicas.

En la elaboración de jamón cocido la cantidad de salmuera a inyectar depende del rendimiento tecnológico que se quiera obtener en el producto final. Este parámetro es el cociente entre el peso del jamón cocido y el peso de la materia prima, en este caso del pernil, multiplicado por cien. En la elaboración de jamón cocido de alta calidad, el rendimiento tecnológico no debe ser superior al 115-120% (Luzón y Martín, 2001).

La inyección de la salmuera se puede hacer por vía arterial, mediante una única aguja conectada a una bomba a presión o mediante el uso de una inyectora con un sistema multiagujas, y debe realizarse de manera uniforme y con una velocidad y presión adecuada.

En la inyección por vía arterial, dado que la salmuera se inyecta en la carne a través del sistema vascular arterial, es un requisito primordial que los pernils no

presenten lesiones. Por otro lado, con objeto de evitar la ruptura de los vasos sanguíneos, la presión a utilizar durante la inyección no debe ser mayor de 2,5 bares. No obstante, este tipo de inyección requiere un trabajo muy intenso por lo que hoy en día solo se aplica en aquellos productos que se elaboran con hueso (Domínguez, 1997).

En la actualidad, el sistema de inyección de la salmuera mediante una inyectora con sistema multiagujas es el más utilizado. 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, 1997). La utilización de inyectoras multiagujas permite además, 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 debe ser cuidadosamente controlada para no sobrepasar los 2 bares, para no romper los músculos y evitar la formación de huecos en el producto final (López y col., 2001). Por otro lado, es importante que las agujas de la inyectora tengan una separación adecuada para evitar deficiencias y/o excesos de la salmuera en el pernil, que daría lugar a la formación de coloraciones anómalas, defectos en la consistencia y/o en el sabor del producto (López y col., 2001).

En ocasiones, la inyección se combina con un proceso de tenderización. En general, las inyectoras multiagujas disponen de un tenderizador que, antes de la inyección de la salmuera, realiza una acción mecánica sobre las estructuras conectivas que envuelven los músculos y las fibras musculares. Este proceso mecánico implica la realización de pequeños cortes en la carne, lo que permite aumentar la superficie del pernil facilitando la extracción y solubilización de las proteínas miofibrilares en etapas posteriores. De este modo, con la tenderización se mejora el rendimiento y la textura en el producto terminado (Xargayó y col., 2007). Además, se obtiene un ablandamiento del músculo que permite una mejor adaptación de los perniles a los moldes de cocción.

La realización o no de la tenderización depende del rendimiento que se desea obtener y de la clase de producto a elaborar, así cuanto mayor sea la tenderización, mayor será el rendimiento.

2.4.3.4. Masajeado

El masajeado es una de las etapas más importantes del 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 miofibrilares (actina y miosina) como consecuencia de la rotura de estructuras celulares y de la distribución de los ingredientes de la salmuera en la carne. La extracción de las proteínas musculares miofibrilares va a influir positivamente sobre la textura del producto final, debido a que las proteínas extraídas coagulan por efecto del calor durante la etapa de cocción. Además, la solubilización de las proteínas va a implicar la formación de una red tridimensional en la que se mantiene retenida el agua, lo que supone un aumento de la CRA y por tanto del rendimiento (Motycka y col., 1983 y Xargayó y Lagares, 1992) y de la jugosidad del producto final (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. Además, la rotura de las estructuras celulares por el tratamiento mecánico, da lugar a la migración de pigmentos responsables del color, 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: malaxado o amasado. En el malaxado o “masajeado por caída” la carne gira en un tambor rotatorio, a la vez que es objeto de un intenso tratamiento mecánico a cargo de paletas, mediante las cuales se elevan las piezas de carne hasta la parte superior del bombo y de ahí, caen sobre otras piezas de carne, produciéndose un tratamiento mecánico intenso. 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).

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).

La realización del trabajo mecánico a elevada velocidad causa una mayor rotura celular y, además, una desintegración excesiva de las fibras del músculo, lo que puede implicar la presencia de defectos en la textura. Por otro lado, la realización del trabajo mecánico a una velocidad lenta es más adecuado ya que va a favorecer el exudado de proteínas y su posterior entremezclado, obteniéndose una mejor cohesión entre los músculos, y por tanto, productos cárnicos cocidos con mayor rendimiento (López y col., 2001).

Habitualmente, en el tratamiento mecánico se combinan periodos de trabajo con ciclos de reposo. Con la realización de periodos de reposo tiene lugar un aumento en la hidratación de las fibras musculares, así como un mayor grado de destrucción de las envolturas conjuntivas de las fibras musculares, lo que implica un aumento en la extracción de proteínas musculares hacia el exterior del músculo (López y col., 2001). Además, durante el tiempo de reposo se llevan a cabo diferentes reacciones entre los compuestos de la salmuera y los de la carne, que contribuyen en el desarrollo del sabor, del color y la obtención de una textura característica del jamón cocido de alta calidad (Xargayó y Lagares, 2008). El periodo de reposo debe ser suficiente para que se lleven a cabo estas reacciones, aunque hay que tener en cuenta que un tiempo excesivo va a implicar un incremento del coste de producción. Núñez (2004) indicó que un tiempo de reposo de 10-12 horas es habitual en la elaboración de productos cárnicos cocidos. No obstante, en la elaboración de jamón cocido con todos los músculos, jamón cocido de alta calidad, se recomienda la realización de periodos de reposo de 4 ó 5 días (Xargayó y Lagares, 2008), para conseguir las características organolépticas (color, textura y sabor) típicas de dichos productos.

Por otro lado, el proceso de masajeado debe realizarse a vacío con el fin de evitar la formación de espuma provocada por la emulsión de proteínas. La espuma puede dificultar el ligado muscular y favorecer la aparición de burbujas de aire en los músculos, lo que da lugar a la presencia de oquedades en el producto final (Xargayó, 2008).

2. Revisión Bibliográfica

Finalmente, 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).

2.4.3.5. Enmoldado

El enmoldado de los perniles inyectados se realiza tanto para que los jamones adquieran una forma determinada, como para evitar la salida de jugo del jamón durante la cocción y que entre las piezas cárnicas queden espacios de aire. En función del tipo de producto que se quiera obtener se llevará a cabo el enmoldado y/o el envasado.

En el proceso tradicional de elaboración de jamón cocido, en el que la cocción se realiza “con merma”, es decir con pérdida de peso, el jamón se coloca en un molde de aluminio o de acero inoxidable, regulable en función del tamaño de la pieza (Figura 10). En estos casos, para evitar el contacto directo de la pieza cárnica con el molde, se utiliza un film micro perforado, que facilita la salida de salmuera y compuestos hidrosolubles hacia el exterior.



Figura 10. Molde regulable para el enmoldado del pernil.

Para la elaboración de jamón cocido “con merma cero”, el pernil inyectado se envasa a vacío en una bolsa de plástico que será el envase definitivo del producto. 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).

2.4.3.6. Cocción

En la elaboración de jamón cocido, el tratamiento térmico tiene diferentes finalidades (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, ligado y cohesión adecuada al producto acabado.
- Permitir el desarrollo y estabilización del color. El tratamiento térmico provoca la desnaturalización de la nitrosilmioglobina, que se transforma en el pigmento rosado nitrosilhemocromo, característico de estos productos.
- Formar 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.
- Destruir microorganismos presentes en el producto y así, aumentar su vida útil. La temperatura mínima, para conseguir una pasteurización aceptable en el centro de la pieza cárnica, es de 68°C (López y col., 2001).
- Impedir o retrasar los procesos indeseables de la degradación biológica por activación enzimática. 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).

2. Revisión Bibliográfica

Para obtener estos efectos, durante la cocción se debe alcanzar una temperatura de al menos 65°C en el interior del producto (López y col., 2001). 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. 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).

La etapa de cocción es un punto crítico en la elaboración de productos cárnicos cocidos, por ello, es importante establecer las condiciones óptimas de cocción para evitar la aparición de determinados defectos en las características organolépticas del producto final (Reichert, 1988). Los parámetros más importantes que determinan la cocción son la temperatura y el tiempo de cocción (Shahidi y Samaranayaka, 2004). En función de cómo se realice el incremento de la temperatura, se pueden diferenciar varios tipos de cocción (Domínguez, 1997):

- Método de cocción a temperatura constante. En este método 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.
- Método de cocción por incremento continuo de temperatura. En este tipo de cocción, que se denomina “Delta T”, la temperatura se va modificando en función de la evolución de la temperatura interna del centro del producto. 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). A temperaturas superiores a 75°C tiene lugar una deficiente cohesión entre los músculos que componen el jamón y se favorece el desarrollo de olores y sabores desagradables (Reichert, 1988).
- Método de cocción escalonado selectivo. Este método es intermedio entre los dos anteriores, y consiste en realizar el calentamiento total en diferentes etapas individuales, en las que se incrementa y se mantiene la temperatura durante 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.

En cualquiera de los tres tipos de cocción la temperatura del centro de la pieza es la que delimita el punto final del proceso de cocción. Esto implica que la cocción Delta T sea la que conlleve mayor duración de esta etapa. 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 escalonado selectivo permite disminuir la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de la pieza, siendo por lo tanto la más adecuada.

2.4.3.7. Enfriamiento

Una vez terminado el proceso de cocción, el jamón cocido se enfría para evitar temperaturas que permitan el crecimiento microbiano y para obtener en el producto final una textura adecuada (López y col., 2001).

El enfriamiento se debe realizar rápidamente, de manera que el tiempo necesario para disminuir la temperatura interna del jamón cocido, de aproximadamente 50°C hasta 12°C, no exceda 6 horas y que posteriormente, su temperatura siga disminuyendo (American Meat Institute, 1984). A su vez, esta etapa debe llevarse a cabo lentamente para que el rendimiento del jamón cocido no se vea afectado (Desmond y col., 2000). Para ello, en primer lugar, en el proceso de enfriamiento, se realiza una ducha o inmersión en agua fría. Seguidamente, el producto cocido se lleva a una cámara refrigerada hasta alcanzar una temperatura de 0-2°C en el centro de la pieza. También se pueden utilizar túneles de enfriado, para asegurar un enfriamiento más rápido del producto.

Finalmente, antes del desmoldado, el jamón cocido se mantiene en la cámara refrigerada, un mínimo de 24 horas, con objeto de que las proteínas del producto ligen el posible exceso de humedad del producto, así como para asegurar que el color y las propiedades organolépticas del producto se estabilicen.

2.4.3.8. Envasado y almacenamiento

Una vez concluido el proceso de elaboración, el jamón cocido 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

2. Revisión Bibliográfica

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 el caso del jamón cocido ecológico, las limitaciones establecidas en la legislación en cuanto al número y a la cantidad de aditivos que se puede utilizar, implican una disminución de la presencia de barreras para el crecimiento de microorganismos, en comparación con el producto convencional.

En relación al envasado, en el caso del jamón cocido que se elabora sin merma, el producto es distribuido en el mismo envase en el que se lleva a cabo la cocción. En aquellos casos en que se elabora con merma, el jamón cocido debe ser envasado antes de su venta, pudiéndose presentar al consumidor en piezas enteras y venderse al corte o en formatos listos para el consumo como lonchas envasadas. La comercialización del producto en lonchas implica una mayor manipulación del producto que conlleva un mayor riesgo de contaminación con microorganismos alterantes que limitan su periodo de vida comercial y/o con microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades en el consumidor (Pérez-Rodríguez y col., 2010). Además, esta presentación supone un aumento de la superficie de exposición del producto, por lo que a corto plazo, tiende a ceder agua a la atmósfera, lo que implica una pérdida de peso y un deterioro en su aspecto y textura (Brennan y Day, 2008).

Por ello, el jamón cocido debe ser envasado y almacenado de forma adecuada para que además de aumentar su vida útil, se mantengan inalteradas las propiedades organolépticas típicas que le caracterizan.

Envasado

En respuesta a los nuevos hábitos de consumo, la industria agroalimentaria ha implementado paulatinamente tecnologías de conservación que garantizan la calidad higiénica de los alimentos y prolongan su vida útil minimizando las alteraciones en los mismos. Entre estas tecnologías se encuentra el envasado en atmósfera protectora, que tiene por objetivo mantener la calidad sensorial del producto final y prolongar su vida comercial, con respecto al envasado tradicional en aire. El envasado en atmósfera protectora implica la eliminación del aire contenido en el paquete con objeto de controlar las reacciones químicas, enzimáticas o microbianas, que son los principales agentes de la alteración de los productos cárnicos (García y col., 2006). Una vez eliminado el aire, dependiendo

de las modificaciones realizadas en el entorno del producto cárnico envasado existen dos modalidades de atmósfera protectora:

- El **envasado a vacío**, que consiste en la eliminación total del aire del interior del envase sin que éste sea reemplazado por otro gas. En los últimos años, con objeto de hacer más atractivo este tipo de envasado, se ha desarrollado la tecnología denominada envasado a vacío “segunda piel”. En ella el material de envasado (la lámina superior que cubre la bandeja) se calienta antes de situarse sobre el alimento, una vez evacuado el aire del interior del paquete. Por efecto del calor, la lámina se retrae adaptándose al contorno del producto, incluso cuando este es irregular.
- El **envasado en atmósfera modificada** consiste en reemplazar el aire del espacio de cabeza del envase por una mezcla de gases de composición diferente a la atmosférica, seleccionada de acuerdo a las propiedades del alimento. La mezcla de gases más habitual en productos cárnicos cocidos es una combinación binaria de dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂) (Brennan y Day, 2008). El CO₂ es un gas con propiedades bacteriostáticas, fungistáticas e insecticidas. 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 (García y col., 2006), que son las principales responsables del deterioro microbiológico del jamón cocido (Vasilopoulos y col., 2010). En cuanto al nitrógeno, éste es un gas inerte que se utiliza como relleno (García y col., 2006).

La efectividad del empleo del envasado a vacío frente al envasado en atmósfera modificada, en los productos cárnicos cocidos, se ha evaluado en diferentes estudios. En jamón cocido, Beumer y col. (1996) indicaron un efecto similar del envasado a vacío y en la mezcla 30% CO₂/70% N₂ frente a *Listeria monocytogenes*. Por el contrario, Vermeiren y col. (2006) señalaron que en este producto, la utilización de 50% CO₂/50% N₂ era más efectiva frente al crecimiento de *Listeria monocytogenes* que la utilización del vacío. En relación al crecimiento de bacterias ácido lácticas, en diversos estudios realizados en jamón cocido loncheado

2. Revisión Bibliográfica

(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% O₂/70% N₂ o 50% CO₂/50% N₂). En otros productos cárnicos cocidos, como es el pavo cocido, también se ha observado que los recuentos de bacterias ácido lácticas y de totales viables a lo largo del tiempo, eran similares en muestras envasadas en atmósferas modificadas (80% CO₂) y en muestras envasadas al vacío (Pexara y col., 2002). Finalmente, indicar que en los estudios realizados por Viuda-Martos y col. (2010a, 2010c) se observó un mayor recuento de bacterias lácticas y totales en muestras de salchichas cocidas y de mortadela, envasadas en atmósferas modificadas que contenían 20% de CO₂ y 80% de N₂, que en las muestras envasadas a vacío.

Almacenamiento

Como se ha indicado anteriormente, el jamón cocido es un producto susceptible al deterioro tanto sensorial como microbiológico, por lo que en las condiciones de almacenamiento se ha de tener en cuenta la temperatura y la luz, ya que pueden ejercer un efecto negativo sobre su conservación (López y col., 2001).

Durante el almacenamiento del jamón cocido se debe mantener la **temperatura** de almacenamiento del mismo lo más próxima a 0°C y en todo momento se debe garantizar la cadena de frío para prevenir el crecimiento de los microorganismos (López y col., 2001; Pérez-Rodríguez y col. 2010). Así, se ha observado que cuando se aumenta la temperatura de almacenamiento del jamón cocido loncheado, de 4°C a 7, 12 ó 26°C, tras 10 días de envasado, se produce un incremento en el recuento de microorganismos de aproximadamente 2-4 log ufc/g (Leroy y col., 2009). Nyati (2000) indicó también que el almacenamiento de los productos cárnicos cocidos a una temperatura inferior a 3°C previene el crecimiento de bacterias patógenas.

En relación a la **luz**, en los puntos de venta directa al consumidor es habitual el almacenamiento de los productos cárnicos cocidos loncheados y más concretamente el jamón cocido loncheado, en murales de refrigeración iluminados. La luz que incide sobre el jamón cocido loncheado favorece la oxidación de los pigmentos, concretamente del pigmento nitrosilhemocromo, que es foto sensible, lo que puede dar lugar a defectos en el color (Møller y col., 2001; Larsen y col., 2006). La pérdida de color debida a la foto oxidación va a depender de la

intensidad de luz (Møller y col., 2003), del contenido de nitritos y de la calidad del producto (Møller y col., 2000; Dinnen y col., 2000) así como de la cantidad residual de oxígeno presente en el envase. Møller y col. (2000) observaron en muestras de jamón cocido loncheado, almacenado bajo luz un deterioro en el color cuando había una concentración de oxígeno en el envase de 0,5%.

Finalmente, indicar que autores como Stekelenburg y Muermans (2001) y Hu y col. (2009) establecieron la vida útil del jamón cocido envasado al vacío o en atmósferas modificadas y almacenado entre 1-8°C, entre 3 y 4 semanas.

2.5. REDUCCIÓN DEL USO DE NITRITOS

2.5.1. Limitaciones en el uso de nitritos

El uso de nitritos en la elaboración de alimentos ha sido 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). Los N-nitrosocompuestos pueden tener dos orígenes diferentes:

- N-nitrosocompuestos presentes en los alimentos, que se forman durante el proceso de fabricación o durante el tratamiento culinario de los mismos, y
- N-nitrosocompuestos de formación endógena, que se forman de manera natural en el organismo humano.

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., 2002). 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, en concreto el óxido nítrico producido a partir de las sales nitrificantes reacciona 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

2. Revisión Bibliográfica

compuestos aminados constituyentes del músculo, como la creatina, prolina o lisina (Ellis y col., 1998), siendo las nitrosaminas más comúnmente encontradas la nitrosodietilamina (NDMA), la nitrosopirrolidina (NPIR), la nitrosopiperidina (NPIP), la nitrosomorfolina (NMOR), la nitrosotiazolidina (NTHZ), la nitrosoprolina (NPRO) y la nitrosopirrolidina (NPYR) (Vargas y Taborda, 2006).

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, aunque se ha demostrado que la nitrosación puede producirse, aunque muy lentamente, incluso a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (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 relación a los niveles de nitrosaminas en productos cárnicos, el beicon es el producto cárnico que más se ha estudiado por la agresividad del tratamiento culinario de fritura (alrededor de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$). Debido a ello, es necesario diferenciar la presencia de N-nitrosaminas volátiles en el producto curado sin cocinar y en el frito. En este sentido, diversos estudios han indicado que tanto la NDMA como la NPYR se encuentran habitualmente en el beicon frito pero en el producto crudo sólo se han detectado ocasionalmente y siempre en tasas muy bajas ($< 5\text{ }\mu\text{g/kg}$) (AESAN, 2008). En relación a otros productos cárnicos distintos al beicon, la concentración de NDMA se sitúa en valores inferiores a $10\text{ }\mu\text{g/kg}$, siendo la concentración habitual de otras N-nitrosaminas (NPYR y NPIP), más baja (AESAN, 2008). Para comprender mejor el significado de estos valores, es preciso indicar que la TD50 estimada en ratas (dosis diaria necesaria para que el 50% de la población desarrolle un tumor al final de su vida) para la NDMA y NPYR es de $95,9\text{ }\mu\text{g/kg}$ y $799\text{ }\mu\text{g/kg}$ peso corporal/día, que equivalen a $6,7\text{ mg}$ y 56 mg , respectivamente, para una persona de 70 kg de peso (AESAN, 2008).

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, estómago y porción distal del intestino delgado y 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, la cual depende 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 posible 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 de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) ha realizado recientemente (IARC, 2010) 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.

Por ello, derivado de los posibles efectos negativos que los nitritos podrían ejercer en la salud, el uso de nitritos se ha regulado legislativamente para asegurar su efecto inhibidor antibotulínico y un bajo nivel residual, del orden de 10 a 50 mg/kg según los productos (BOE, 2007; DOUE, 2008). En el caso de la producción ecológica, la legislación pretende ser aun más restrictiva prohibiendo el uso de nitritos. Así, en el artículo 27 (apartado 2a) del “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” (DOUE, 2008), vigente en la actualidad, se indica que el empleo del nitrito de sodio y del nitrito de potasio se revisaría antes del 31 de diciembre de 2010, con el fin de prohibir su uso.

2.5.2. Estrategias para solventar las limitaciones del uso de nitritos

La formación de nitrosaminas en los productos cárnicos se puede prevenir o evitar mediante la disminución de los niveles residuales de nitrito en los productos en los que se emplean nitritos y/o nitratos o bien mediante la eliminación de este aditivo. A la hora de 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 en el apartado 2.4.2.4, los nitritos, además de un efecto antimicrobiano frente a microorganismos patógenos como *C. botulinum*, participan en el desarrollo y estabilidad del color, del aroma, del sabor y tienen un efecto antioxidante. 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. 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 de comercialización, lo cual no sucede en los productos no nitrificados. Por último, 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, 2011). 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.

A continuación se describen las estrategias desarrolladas hasta el momento para disminuir los niveles residuales de nitrito, de nitrosaminas preformadas o para eliminar/reducir el uso de este aditivo.

2.5.2.1. Reducción de agentes nitrosantes y/o nitrosaminas preformadas

Para reducir los niveles residuales de nitrito en los productos cárnicos en los que se emplean, y por tanto de agentes nitrosantes y de nitrosaminas preformadas se han utilizado tanto estrategias de tipo químico (empleo de agentes reductores o

antioxidantes), de tipo biológico (utilización de microorganismos con actividad nitrato-reductasa) como de tipo físico (empleo de radiaciones γ).

La reactividad del nitrato aumenta cuanto mayor es el tiempo y la temperatura de procesado de los productos cárnicos, la cantidad de acidulantes, agentes reductores o antioxidantes y/o cloruro sódico utilizado en la elaboración de los productos cárnicos, y menor es la cantidad de oxígeno presente (Sindelar, 2009). Sin embargo, la modificación de estos factores, con objeto de reducir las cantidades residuales de nitratos en el producto final, no siempre es viable. Así, un aumento del tiempo de procesado implica pérdidas económicas, un aumento en la temperatura de procesado supone un mayor riesgo de oxidación lipídica. Por otro lado, el empleo de acidulantes podría implicar una disminución excesiva del pH, que ocasionaría una menor CRA y un menor rendimiento del producto final. Por último, un aumento en la cantidad de cloruro sódico utilizada tampoco ejercería beneficio alguno. Por tanto, en principio, desde el punto de vista químico, para reducir la cantidad residual de nitratos en los productos cárnicos la mejor alternativa sería el empleo de agentes reductores o antioxidantes.

a) **Empleo de agentes bloqueantes o inhibidores de la nitrosación**

Diversos estudios han puesto de manifiesto que en los productos cárnicos, tanto la cantidad de nitrosocompuestos como la cantidad residual de nitratos se pueden reducir 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., 2010a, c). Cuando el pH de los productos cárnicos es inferior a 6, el nitrato se transforma en ácido nitroso, que es muy inestable, y puede reaccionar tanto con sustancias endógenas (cisteína, nicotinamida adenina di nucleótido, citocromos y quininas) como exógenas (ácido ascórbico o sus sales, α -tocoferol, polifenoles, etc.) transformándose en NO (Pérez-Álvarez, 2006).

Respecto a la reducción del contenido de nitrosocompuestos, existen diversas sustancias que bloquean el mecanismo químico de formación de nitrosaminas como el **ácido ascórbico** (vitamina C), que es especialmente eficaz en medios acuosos y el **α -tocoferol** (vitamina E) que es muy eficaz en medios grasos (Vargas y Taborda, 2006). Según estudios realizados *in vitro*, el mecanismo de inhibición de las reacciones de nitrosación comienza con una reducción del anhídrido nitroso

2. Revisión Bibliográfica

a óxido nítrico tanto con el ácido ascórbico como con el α -tocoferol, que son oxidados a ácido dehidroascórbico y α -tocoquinona (Smith, 1980).

Fiddler y col. (1973) estudiaron el efecto de la utilización de sales sódicas del ácido ascórbico e isoascórbico (550 mg/kg) en la formación de NDMA, en salchichas cocidas elaboradas con nitritos (156 mg/kg, concentración autorizada en EEUU). Estos autores no pudieron detectar cantidades mensurables de NDMA en salchichas sometidas a calentamiento durante 4 horas. Sin embargo, cuando añadían nitritos en concentraciones 10 veces mayor a las permitidas (1.500 mg/kg) las salchichas elaboradas contenían entre 10 y 22 μ g/kg de NDMA si no contenían ascorbato o isoascorbato y se reducían a 0 y 6-7 μ g/kg cuando los tiempos de calentamientos eran de 2 y 4 horas, respectivamente.

Rywotycki y col. (2002) observaron en jamones pasterizados que la formación de nitrosaminas a consecuencia del empleo de nitrito sódico disminuía con el empleo de ascorbato sódico.

Por otro lado, los estudios realizados por Gray y col. (1978) y Skrypec y col. (1985) han demostrado la efectividad del α -tocoferol como inhibidor de la formación de nitrosaminas en beicon cocinado.

También Pourazrang y col. (2002), en salchichas frescas elaboradas con 150 o 600 mg/kg de nitritos, indicaron que con la utilización conjunta de ácido ascórbico (250, 500, 1.000 y 2.000 mg/kg) y de α -tocoferol (125, 250 y 500 mg/kg) se inhibía la formación de compuestos nitrosos tras la fritura. Estos autores observaron un efecto sinérgico de estos compuestos, que atribuyeron a la capacidad del ácido ascórbico de reducir el radical tocoferol a su forma originaria de α -tocoferol.

Teniendo en cuenta el efecto del ácido ascórbico en la reducción de los niveles residuales de nitritos en los productos cárnicos, en la legislación de EEUU y de la UE, se recomienda la incorporación de ácido ascórbico/ ascorbato o isoascórbico/isoascorbato en dosis de 500 mg/kg en productos cárnicos con riesgos de formación de nitrosaminas, como el beicon cuando se somete a tratamientos de fritura (AESAN, 2008). También en los productos cárnicos tratados por el calor que tienen bajo contenido de sal, en los que se debe mantener la dosis máxima de incorporación de nitritos de 150 mg/kg para evitar cualquier riesgo de desarrollo de *C. botulinum*, se ha recomendado la incorporación de ascórbico/ascorbato o

isoascórbico/isoascorbato (500 mg/kg) para reducir los niveles residuales de nitritos (Flores, 2010). Por otro lado, en la legislación que regula la producción ecológica (DOUE, 2008) se establece que, en los productos cárnicos, los nitritos y el ascorbato sódico deben usarse en combinación.

El efecto del ácido ascórbico se puede potenciar también con otras sustancias inhibidoras de la reacción de formación de nitrosaminas, como los **compuestos fenólicos**. De hecho, en EEUU se recomienda la utilización del ácido ascórbico con un bioflavonoide como la hesperidina (Vargas y Taborda, 2006).

En este sentido, el grupo de investigación de Viuda-Martos ha estudiado la utilización de productos secundarios de la industria de los cítricos, como la fibra dietética de naranja, el agua procedente de la extracción de la fibra o el albedo de limón. 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, 2010b).

Según los resultados obtenidos por este grupo el empleo de **fibra de naranja** permite una reducción del contenido residual de nitritos tanto en los productos cárnicos crudo curados como en los productos cárnicos cocidos. En productos curados, concretamente en salchichón, estos autores obtuvieron una reducción en el contenido de nitritos de aproximadamente 14 a 6 mg/kg (Fernández-López y col., 2008). Además, observaron que cuando se utilizaba fibra de naranja junto con aceites esenciales de especias como timo, orégano o romero, se reducía en mayor medida el contenido de nitritos residuales (García-Martínez, 2009). En el caso de los productos cárnicos cocidos como la mortadela, la utilización de fibra de naranja con aceite esencial de timo 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, el **agua utilizada en la extracción de fibra** a partir de cítricos, permitió reducir un 42,7% el contenido residual de nitritos en productos cárnicos cocidos (Viuda-Martos y col., 2008). Así, en salchichas cocidas elaboradas con 150 mg/kg de nitritos se logró reducir la cantidad de nitritos de 21,4

2. Revisión Bibliográfica

mg/kg a 9,4-10,7 mg/kg, si se añadían en su elaboración agua utilizada en la extracción de fibra y orégano o timo (Viuda-Martos y col., 2009b).

En la misma línea, los estudios realizados por estos investigadores con **albedo de limón** indicaron que su uso reducía los niveles residuales de nitrito en embutidos crudo-curados y en salchichas cocidas, siendo más eficaz el albedo crudo que el obtenido tras su cocción (Aleson-Carbonell y col., 2002, 2003, 2004; Fernández-Ginés y col., 2001, 2004; Pérez-Álvarez y col., 2001). En salchichas cocidas elaboradas con un 10% de albedo crudo y cocido se observó un contenido residual de nitritos de 11,9 y 16,8 mg/kg respectivamente, menor que el de las salchichas elaboradas sin albedo, que presentaron 29,2 mg/kg de nitritos residuales (Fernández-Ginés y col., 2004).

Es preciso indicar que la utilización de estos productos secundarios de la industria de los cítricos en la elaboración de productos cárnicos además de una reducción de los niveles residuales de nitritos, implica cambios en las características físico-químicas y sensoriales del producto. Así en los estudios descritos anteriormente, se ha observado que la inclusión de dichos ingredientes en los productos cárnicos cocidos modifica el color del mismo, que presenta una mayor luminosidad e índice amarillo y un menor índice de rojo (Fernández-Ginés y col., 2004; Viuda-Martos y col., 2008, 2010a,c). Además, los productos así elaborados presentan una mayor dureza (Fernández-Ginés y col., 2004; Viuda-Martos y col., 2010a, c) y una menor jugosidad (Fernández-Ginés y col., 2004; Viuda-Martos y col., 2010c). Finalmente, indicar que cuando en la elaboración de productos cárnicos cocidos, junto con los productos secundarios de la industria de los cítricos, se añadían aceites esenciales de orégano, timo o romero en el producto final se detectaban olores derivados del uso de dichos aceites (Viuda-Martos y col., 2009b, 2010a,b).

b) Empleo de cultivos iniciadores

Los cultivos iniciadores son microorganismos que pertenecen al grupo de las bacterias lácticas, CG+C+ (cocos gram positivos, catalasa positivo), los mohos y/o las levaduras, que se utilizan en el procesado de la carne y de los productos cárnicos para asegurar y mejorar la calidad higiénico-sanitaria y la calidad sensorial ya que contribuyen a la obtención del color, sabor y aroma característico de los mismos (Carrascosa, 2001).

En diversos estudios (Dodds y Collins-Thompson, 1984; Wolf y col., 1990; Gotterup y col., 2007, 2008) se ha puesto de manifiesto la actividad nitrito reductasa de diferentes cepas de *Lactobacillus* y *Staphylococcus*. Según Gotterup y col. (2007) el mecanismo de acción a través del cual *Staphylococcus carnosus*, *S. simulans*, *S. saprophyticus* reducen el nitrito estaría relacionado con la utilización de los nitritos como aceptores de electrones en la cadena respiratoria celular de dichos microorganismos.

En embutidos fermentados elaborados con *Lactobacillus fermentum*, Møller y col. (2003a) no detectaron nitritos ni nitratos residuales, a diferencia de los embutidos elaborados sólo con nitritos que presentaron 21,0 mg/kg de nitritos y 64,0 mg/kg de nitratos. Por ello, mediante el empleo de este cultivo iniciador se podría reducir el contenido residual de nitritos.

El empleo de los cultivos iniciadores habituales en la transformación de los productos alimentarios está permitido en la elaboración de productos ecológicos (DOUE, 2008), por lo que podría ser una estrategia para reducir los niveles residuales de nitritos en productos cárnicos curados. En el caso de los productos cárnicos cocidos su uso no sería tan efectivo, ya que en la elaboración de estos productos se utilizan temperaturas elevadas que los podrían inactivar.

c) Empleo de radiaciones γ

Diversos estudios (Fiddler y col., 1981; Pensaben y col., 1987; Hu y Song 1988) han puesto de manifiesto que la aplicación de radiaciones permite reducir la cantidad residual de nitritos y nitrosaminas en beicon. Concretamente, Hu y Song (1988) indicaron que con la aplicación de 5 KGy se podía reducir la cantidad residual de nitritos de 41,2 a 21,0 mg/kg. Según Simie (1983) la reducción de los nitritos residuales por el tratamiento de irradiación es debida probablemente a su reacción con los radicales hidroxil producidos por la radiolisis del agua presente en el producto.

En salchichas de cerdo cocinadas elaboradas con nitrito sódico (156 mg/kg), los estudios realizado por Ahn y col. (2003), Jo y col. (2003) y Song y col. (2003) indicaron que la aplicación de radiaciones γ (5-20 kGy) reducía significativamente los niveles de nitritos residuales y de nitrosaminas, principalmente NDMA y NPYR, siendo esta reducción mayor cuando el producto estaba envasado en atmósfera modificadas que en aire. Sin embargo, en un estudio posterior, estos

mismos autores (Ahn y col., 2004) observaron que la aplicación de este tipo de radiaciones implicaba una pérdida del color rojo de las salchichas cocinadas, debido probablemente a fenómenos de denitrosilación del pigmento nitrosilmioglobina.

En productos crudo curados, como el jamón curado, Wei y col. (2009) observaron que mediante la aplicación de radiación γ (5 KGy) durante el proceso de curado del jamón se disminuía la cantidad residual de nitritos ya que en el día 55 y 135 de curado presentaron un 25,9% y un 69% menos de nitritos residuales que los jamones no radiados.

Respecto a la utilización de radiaciones con objeto de reducir los niveles de nitritos residuales y de nitrosaminas en los productos cárnicos, es preciso indicar que en las Directivas Europeas 1999/2/CE y 1999/3/CE se establece una única categoría de alimentos en el territorio de la Unión Europea susceptible de ser tratados con radiaciones con fines antimicrobianos y son las hierbas aromáticas secas, las especias y los condimentos vegetales. En este sentido, la utilización de esta estrategia no estaría permitida en la elaboración de jamón cocido.

2.5.2.2. Alternativas al uso de los nitritos

Los nitritos realizan funciones tecnológicas fundamentales en el desarrollo de las características de los productos en los que se emplean. En la industria cárnica, la necesidad tecnológica de estos aditivos se fundamenta en sus propiedades antimicrobianas y en que participan en el desarrollo de propiedades funcionales y tecnológicas (Flores, 2010). En los productos cárnicos cocidos, como el jamón cocido, 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, a continuación se describen los estudios realizados con objeto de buscar 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 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) y en estudios en los que se adicionan pigmentos

sintetizados fuera de la matriz cármica (adición de nitrosilhemocromo o colorantes naturales).

a) Formación de nitrosilmioglobina *in situ* a través de cultivos iniciadores

Diversos estudios, realizados tanto en sistemas modelo como en embutidos fermentados, 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**.

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 (MetMb-Fe³⁺) en nitrosilmioglobina (MbFe²⁺-NO). Morita y col. (1997) indicaron que *Lactobacillus fermentum* presenta la enzima oxido 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 xylosus* eran capaces de formar nitrosilmioglobina. Más recientemente, Li y col. (2011) han mostrado que este microorganismo es capaz de transformar metamioglobina en nitrosilmioglobina, en un sistema modelo.

Møller y col. (2003a) 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, Zhang y col. (2007), en la elaboración de salchichas fermentadas cocidas y ahumadas, indicaron que la utilización de *Lactobacillus fermentum* como sustituto de los nitritos podría permitir obtener un producto con un 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.

b) Adición de nitrosilhemocromo sintetizado fuera de la matriz cárnica

El **complejo protoporfirina-IX** es uno de los compuestos que se ha propuesto para reducir o eliminar la utilización de nitritos en la elaboración de productos cárnicos, respecto a la acción que éstos ejercen en la formación y estabilización del color característico de los productos cárnicos curados.

En este sentido, Shahidi y Pegg (1990) estudiaron el efecto de este compuesto, indicando que la adición de protoporfirina-IX a la carne implicaba la aparición de una coloración roja más oscura, que durante el proceso de cocción se transformaba en marrón, debido probablemente a la ausencia de hierro en el compuesto conjugado protoporfirina IX. Posteriormente, estos autores (Shahidi y Pegg, 1990; Shahidi, 1991; Shahidi y Pegg, 1994), 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 se había añadido este compuesto se observó un color rosa similar al que presentan los productos cárnicos cocidos cuando se emplea nitrito sódico en su elaboración. No obstante, es preciso indicar que en algunos de los productos cárnicos elaborados con el pigmento se detectaron nitrosaminas (Shahidi y Pegg, 1994), por lo que el riesgo de la formación de N- nitrosocompuestos cancerígenos con el empleo de esta estrategia, sigue estando presente.

c) 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 obtuvieron 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.

Como alternativa al uso de nitritos también 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*), que tiene como agentes colorantes a la bixina, que es liposoluble y a la norboxina que es hidrosoluble. Aunque pertenece al grupo de los carotenoides, presenta 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 en el color 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 (2011) ha indicado 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 koji rojo 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.

d) Formación de nitrosilmioglobina *in situ* a través 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 estos 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. No obstante, es preciso indicar que los embutidos elaborados con puerro presentaron una mayor pérdida de peso y valores más bajos de pH a partir del día 3 de almacenamiento, en comparación con los embutidos producidos con la adición de nitrito de sodio. En estudios posteriores, estos autores (Tsoukalas y col., 2011) han indicado 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 es una buena alternativa para disminuir al 50% la concentración de nitritos a utilizar en la elaboración de estos productos cárnicos.

El grupo de investigación de Sebranek y col. (Sindelar y col., 2007a y b, 2010; Terns y col., 2011a) ha 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.

Sindelar y col. (2007a) indicaron que con la utilización de un 0,20% ó 0,40% de estos extractos (que implicaría la adición de 69 ó 139 mg nitrato/kg) se podían obtener salchichas cocidas con características sensoriales aceptables, aunque en comparación con el producto elaborado con nitrito sódico (156 mg/kg) la homogeneidad del color, el color a curado y la firmeza en el producto elaborado con extractos vegetales fue menor. 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, Sindelar y col. (2007b) observaron que el producto elaborado con 0,20% de extractos vegetales (69 mg nitratos/kg) presentaba características similares al elaborado con nitrito sódico (200 mg/kg). Sin embargo, el jamón cocido elaborado con 0,35% de extractos vegetales (120 mg nitratos/kg) presentaba un olor y sabor a vegetales. En relación al contenido residual de nitritos, al aumentar la concentración de extractos vegetales de 0,20% a 0,35% en el jamón cocido, se observó un ligero aumento desde 19,3 a 36,0 mg/kg. No obstante, estos valores de nitritos residuales fueron menores que los que presentó 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 nitrito sódico, siendo los niveles de nitrato residual de 11,5-19,2 mg/kg.

2. Revisión Bibliográfica

En productos curados, Sindelar y col. (2010), en base a los resultados obtenidos en el color, la oxidación lipídica y el contenido residual de nitritos y nitratos, concluyeron que la utilización de extractos vegetales junto con un cultivo iniciador era ineficaz en la elaboración de productos cárnicos crudo curados de ternera, elaborados con músculos enteros y sin la adición directa de nitratos y/o nitritos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los estudios anteriores, se puede decir que con la utilización de extractos naturales no se evita el principal inconveniente de la utilización de nitritos, es decir la presencia de nitritos residuales. En este sentido, Terns y col. (2011a) han estudiado 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.

Finalmente, indicar que en la elaboración de productos cárnicos cocidos con extractos vegetales es necesario realizar un periodo de incubación y optimizar el proceso de cocción de dichos productos para garantizar el crecimiento del cultivo iniciador y, por tanto, la conversión de nitratos en nitritos. Modificaciones en factores como la concentración de extracto vegetal y del cultivo iniciador, del periodo y temperatura de incubación podrían permitir reducir al mínimo los niveles residuales de nitratos y nitritos en el producto final (Sebranek y Bacus, 2007).

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, el uso de los nitritos y/o nitratos en la fabricación de productos cárnicos, se considera una necesidad tecnológica, no solo por su función inhibidora de *Cl. botulinum* y otros microorganismos patógenos, sino porque desempeñan un papel decisivo en el desarrollo y estabilidad de las características sensoriales del producto durante su vida útil de comercialización (Flores, 2010).

2.6. REDUCCIÓN DEL USO DE FOSFATOS

2.6.1. Limitaciones en el uso de fosfatos

En todas las formas de vida, los fosfatos desempeñan un papel esencial en los procesos de transferencia de energía, como el metabolismo, la fotosíntesis o la función nerviosa. Además de intervenir en la formación y estructura de los huesos, el fósforo participa en diversas funciones fisiológicas, como lo evidencia su presencia en los iones fosfato y en diferentes compuestos orgánicos intracelulares y extracelulares o a nivel de la membrana celular.

Sin embargo, 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, del potasio o del calcio del alimento. 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 el empleo de fosfatos 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, del hierro y del magnesio, lo que podría contribuir al desarrollo de enfermedades óseas (Kärkkäinen, 1988; Shahidi y Synowiecki, 1997).

En la Unión Europea, el uso de fosfatos está permitido en un tipo de preparado de carne (denominado “breakfast sausages”) y en la mayoría de los productos cárnicos, en los se permite un máximo de 5.000 mg/kg, siempre y cuando no sean ecológicos, en cuyo caso no se admite su uso (BOE, 2007; DOUE, 2008).

2.6.2. Alternativas al 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 algunos productos cárnicos el uso de fosfatos se puede reducir o incluso eliminar sin que surjan defectos en los mismos. Sin embargo, en los productos cárnicos cocidos su reducción o eliminación puede ser problemática debido a que en estos productos los fosfatos reducen la pérdida de agua y compuestos hidrosolubles que tiene lugar durante el tratamiento térmico que se aplica durante su elaboración. Además, en el caso de los productos cárnicos cocidos elaborados a partir de diferentes músculos, como el jamón cocido de alta calidad, la reducción o eliminación de los fosfatos podría afectar a la cohesión de los músculos, lo que podría dar lugar a defectos en la textura del producto obtenido.

Hasta el momento, la mayoría de los estudios desarrollados con objeto de eliminar el uso de los fosfatos se han realizado en preparados de carne, ya que en Estados Unidos su uso se permite en las denominadas “enhancement meats”, que se obtienen tras el marinado o inyectado de la carne con una solución de fosfatos sal, agua y determinados saborizantes (Hayes y col., 2006). En el caso de los productos cárnicos, a pesar de que el uso de fosfatos está prohibido en los productos ecológicos, los estudios realizados hasta el momento para eliminar el uso de este aditivo son escasos, probablemente debido a que el hecho de que los fosfatos se encuentren en la carne de forma natural en una concentración de 4.500-5.000 mg/kg permite cierto margen de actuación a los fabricantes.

Como alternativas al uso de fosfatos en la industria cárnica se ha propuesto 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 altas presiones hidrostáticas (APH).

2.6.2.1. Sustitución por otros compuestos

a) Empleo de sales orgánicas

En diversos estudios se ha evaluado el uso de aditivos como el lactato sódico (E-325), potásico (E-326) o cálcico (E-327) o el citrato sódico (E-331) como alternativa o refuerzo de los fosfatos.

Los estudios realizados hasta el momento parecen indicar que el lactato favorece la proteólisis y la solubilización de las proteínas miofibrilares (Kim y col.,

2011) por lo que podría ejercer un papel similar al de los fosfatos. La adición de lactato 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, que hacen que el producto obtenido sea más jugoso y tierno (Miller, 2010). Sin embargo, dependiendo de las condiciones del medio en el que se encuentren, algunas sales orgánicas pueden disminuir el contenido acuoso de la carne (Byelashov y col., 2010). Walsh y col. (2010) evaluaron el uso del **lactato sódico** o del **lactato potásico** e indicaron que cuando la carne de vacuno se inyectaba con una solución de estos aditivos se mejoraba su textura, tanto cuando se utilizan junto con fosfatos y cloruro sódico como cuando se emplean solos, siendo el rendimiento del producto obtenido similar al del elaborado solo con fosfatos y cloruro sódico. Sin embargo, Maca y col. (1997) obtuvieron un menor contenido acuoso en un asado de redondo de ternera tras la inyección de una solución de lactato en comparación con el producto inyectado solo con agua. Por otro lado, estudios realizados tanto en preparados de carne como en productos cárnicos cocidos han puesto de manifiesto que el aumento del pH de la carne derivado de la adición de un 2-4% de lactato de sodio se traduce en un color más oscuro del magro (Miller, 2010). Además, la adición de lactato de sodio 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). Por ello, se ha propuesto el uso de lactato de potasio en lugar de lactato de sodio ya que tiene funciones similares a las del lactato de sodio, pero no implica un aumento del nivel de Na en el producto final ni problemas de sabor. También se ha evaluado el uso del **lactato cálcico** como sustituto de los fosfatos, ya que la presencia de calcio favorece el debilitamiento de la estructura miofibrilar al provocar la activación de calpaínas que degradan las proteínas del disco Z (Koochmaraie, 1994). En este sentido, Lawrence y col. (2004) observaron en un preparado de carne de ternera, que la inyección de una solución de lactato de calcio permitía obtener una ligazón similar a la obtenida cuando se utilizaban fosfatos, sin embargo, su uso implicaba una disminución del rendimiento, de la CRA y de la terneza en comparación con la carne elaborada con fosfatos.

Con objeto de mejorar la textura de los productos cárnicos elaborados sin fosfatos, también se ha utilizado el **citrato sódico**. Este aditivo, en general, se utiliza como sustancia de refuerzo de la acción antioxidante de otros aditivos y

como corrector de la acidez debido a su acción sobre el pH (Elvira, 2001). Su capacidad para aumentar el pH y, por tanto, para aumentar la CRA podría mejorar la textura de los productos en los que se utiliza. Así, Ruusunen y col. (2003a) observaron que las salchichas cocidas elaboradas con citrato sódico presentaban un mayor rendimiento tras la fritura que las elaboradas sin fosfatos ni citratos. Por otro lado, Stephens y col. (2006) indicaron que con la inyección de una solución de citrato sódico 50 minutos *postmortem*, se mejoraba la terneza y la ligazón del lomo de cerdo en comparación con el producto elaborado sin fosfatos.

Por último, indicar que de los aditivos descritos anteriormente, sólo el lactato de sodio y el citrato sódico están permitidos en la elaboración de productos ecológicos (DOUE, 2008).

b) Empleo de compuestos de naturaleza proteica

Las **proteínas e hidrolizados de proteínas** se utilizan 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). Por ello, en diversos estudios se ha evaluado su uso con el fin de eliminar los fosfatos.

Szerman y col. (2007) indicaron que la inyección de una solución de un concentrado de proteínas de trigo y cloruro sódico en la elaboración de un producto cárnico cocido de ternera permitía disminuir las pérdidas por cocción y la dureza en comparación con el producto no inyectado. También Walsh y col. (2010) observaron que la inyección de un concentrado de proteínas de trigo en un preparado de carne de ternera permitía aumentar el rendimiento y disminuir la dureza, evaluada tanto instrumentalmente como con un panel de catadores. Sin embargo, Shahidi y Synowiecki (1997) que evaluaron el empleo de hidrolizados de proteínas de foca como alternativa al uso de fosfatos en la elaboración de un preparado de carne de foca, observaron que con su uso se reducían ligeramente las pérdidas por cocción, aunque éstas eran muy superiores a las del producto elaborado con diferentes tipos de fosfatos. En este sentido, indicar que los hidrolizados de proteínas no tienen capacidad de retención de agua, salvo por su efecto depresor de la actividad de agua (Freixanet, 2010). Vann y Mireles (2007) también observaron que con la utilización de proteínas, en un preparado de carne elaborado a partir de lomo de ternera se obtenía un menor rendimiento que con el

empleo de fosfatos. Estos autores indicaron también, que la utilización de proteínas implicaba peores características sensoriales y una mayor oxidación lipídica.

Como alternativas al uso de fosfatos, también se ha propuesto la utilización de estrategias biotecnológicas como la utilización de **enzimas** (transglutaminasas, proteinasas fúngicas y trombina).

Diversos estudios han mostrado la eficacia del uso conjunto de **transglutaminasas y caseinatos de calcio** ya que estas enzimas son dependientes del calcio. Las transglutaminasas son enzimas que catalizan la aciltransferencia entre grupos g-carboxiamida de los residuos glutámicos ligados a proteínas y aminas primarias para formar uniones covalentes, principalmente entre la glutamina y los residuos de lisina, lo que permite la agregación de las proteínas y da lugar a la gelación (Lennon y col., 2010). Por ello, son utilizadas como agentes de ligado en frío, para elaborar productos cárnicos reestructurados sin la realización de un proceso de cocción o para mejorar la textura del producto final (Hong y Chin, 2010). También en productos cárnicos elaborados a partir de músculos intactos, como la paleta de cerdo cocida (Dimitrakopoulou y col., 2005) y el jamón curado deshuesado (Romero de Ávila y col., 2010), se ha observado que el uso conjunto de transglutaminasas y caseinatos permite eliminar el uso de fosfatos sin que se produzcan cambios en las pérdidas de peso por cocción y obtener un producto con unas características sensoriales aceptables. No obstante, es preciso indicar que para que tenga lugar la reestructuración del jamón curado deshuesado mediante el empleo de transglutaminasas es necesario tratar la carne con una mezcla de sales formada por cloruro sódico, nitrato potásico y nitrito sódico (Romero de Ávila y col., 2010). De modo similar, Carballo y col. (2006) observaron que, en ausencia de cloruro sódico y fosfatos, la utilización de transglutaminasas y caseinatos de sodio no permite obtener resultados positivos en la ligazón de los productos cárnicos reestructurados de pollo, cerdo y cordero, que presentan una baja CRA y mayores pérdidas por cocción en comparación con el producto elaborado con fosfatos.

En cuanto a las **proteinasas fúngicas**, su uso como alternativa a los fosfatos no ha resultado muy eficaz. Así, Walsh y col. (2010) indicaron que la inyección de diferentes concentraciones de una solución de proteinasas fúngicas en un preparado

de carne de ternera, aunque permitía mejorar la ternura de la carne, implicaba un menor rendimiento en el cocinado en comparación con la carne no inyectada.

Por último, se ha propuesto el uso conjunto de **trombina y fibrinógeno** como agentes de ligado en frío, en la elaboración de diferentes preparados de carne (Boles y Shand, 1999; Flores y col., 2007; Lennon y col., 2010). Cuando estos componentes se mezclan y se aplican en la superficie de la carne, la trombina convierte el fibrinógeno en fibrina y mediante la acción de transglutaminasas presentes en el fibrinógeno, se forman enlaces cruzados entre las moléculas de fibrina. Lennon y col. (2010) indicaron que, en la elaboración de un reestructurado de carne de ternera, el empleo de trombina y fibrinógeno permitía obtener un producto con una cohesión adecuada, tanto en crudo como tras el cocinado y que las pérdidas de peso por cocción eran menores con respecto a la utilización de otros agentes de ligado como las transglutaminasas. Sin embargo, Flores y col. (2007), en un reestructurado de carne de cerdo, obtuvieron una mayor unión cuando utilizaban transglutaminasas, aunque no encontraron diferencias en la textura con el producto elaborado con trombina y fibrinógeno.

Finalmente, indicar que a pesar de que con el empleo de determinados tipos de proteínas y enzimas se mejoran algunas de las características de los preparados de carne y de los productos cárnicos elaborados sin fosfatos, no se han conseguido suplir todas las acciones que ejercen los fosfatos. Por otro lado, hacer notar que este tipo de estrategia no es viable en el jamón cocido, ya que el uso de proteínas y enzimas no está permitido en su elaboración (BOE, 1983; DOUE, 2008).

c) Empleo de compuestos de naturaleza polisacárida

En diversos estudios 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. Dentro de los aditivos, estos compuestos se encuadran dentro del grupo de aditivos que estabilizan las propiedades físicas (E-4 estabilizantes, emulgentes, espesantes y gelificantes).

Ensor y col. (1989), en hamburguesas elaboradas a partir de pechuga de pavo, indicaron que la utilización conjunta de **alginato de sodio** (0,4-1,0%), carbonato cálcico (0,7-0,8%) y lactato (0,6%) implicaba una mayor ligazón y unas menores pérdidas por cocinado en comparación con el producto elaborado sin aditivos. También Rhajardo y col. (1995), en filetes reestructurados, observaron que la

utilización de alginato de sodio (0,5%) y lactato cálcico implicaba una mayor ligazón y menores pérdidas por cocinado, aunque éstas eran menores que en el producto elaborado con cloruro sódico y fosfatos. 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 (Lennon y col., 2010). El mecanismo a través del cual se logra la adhesión de las piezas cárnicas no está muy claro, pero se cree que el gel formado por el alginato y el calcio interacciona con las proteínas cárnicas en los productos reestructurados, mediante interacciones electrostáticas (entre grupos aniónicos del alginato y grupos cargados positivamente de las proteínas) y mediante puentes de hidrógeno más que a través de uniones covalentes (Ustunol y col., 1992; Roopa y Bhattacharya, 2008). También se ha indicado que en presencia de cloruro sódico (2-3%) se inhibe la gelificación debida al alginato, que sí se produce en ausencia de esta sal y, por tanto, sin la solubilización de las proteínas miofibrilares, lo que parece indicar que en la formación de dicho gel participan otro tipo de proteínas como la mioglobina o las proteínas sarcoplasmáticas (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). En productos cárnicos cocidos loncheados, los carragenatos se utilizan para mejorar la retención de agua, el rendimiento, el loncheado, y la jugosidad (Imeson, 2000; Trius y Sebranek, 1996). En estos productos, la utilización de carragenatos se lleva a cabo por su baja viscosidad cuando se disuelven en la salmuera, por su capacidad de hidratación durante la cocción del jamón y por su efecto gelificante durante el enfriado (Therkelsen, 1993; Trius y Sebranek, 1996; Imeson, 2000; Pietrasik, 2003). 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. La mayoría de los estudios realizados indican que se obtiene una mejor retención de agua cuando los carragenatos se usan en concentraciones de 0,3 a 2% (Bater y col., 1992; DeFreitas y col., 1997a; Pietrasik y Duda, 2000; Pietrasik y Li-Chan, 2002; Pietrasik, 2003). Sin embargo, en algunos casos la adición de carragenatos parece

2. Revisión Bibliográfica

no tener o tener un efecto limitado en la CRA de los geles cárnicos (Bernal y col., 1987; Foegeding y Ramsey, 1987; Barbut y Mittal, 1992). Verbeken y col. (2005) estudiaron el efecto del empleo de k-carragenatos en un sistema modelo, basado en el jamón cocido, formado a partir de proteínas miofibrilares, carragenatos, cloruro de sodio, cloruro de potasio y agua. Estos autores observaron que un aumento de la concentración de carragenatos de 0,5 a 2% implicaba un aumento en la CRA de un 5%. No obstante, indicaron que las propiedades del gel cárnico formado dependían de la concentración de proteínas miofibrilares, ya que los carragenatos no participaban con las proteínas en la formación de dicho gel proteico, sino que permanecían en los espacios intersticiales donde se unían al agua para formar fragmentos de gel tras el enfriado.

Las **gomas**, que habitualmente son usadas como espesantes en salmuera, también se han evaluado como alternativa a los fosfatos. Químicamente son polisacáridos pero de estructura normalmente ramificada y los hay de distintos orígenes. En el jamón cocido de alto rendimiento son muy usadas la goma garrofin (extraída del algarrobo) y la goma guar (extraída de las semillas de guar) por su gran capacidad espesante. Sin embargo, estas gommas 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). La goma xantana (de origen microbiano) tiene una capacidad espesante mayor que las anteriores, con las que presenta un efecto sinérgico, aunque tampoco tiene capacidad gelificante, debiéndose tener en cuenta para su uso las mismas precauciones que con el resto de gommas. Somboonpanyakul y col. (2007) evaluaron la utilización de goma de nuez (0,2%) como sustituto de los fosfatos en la elaboración de salchichas cocidas e indicaron que con la utilización de esta goma se mejoraba el rendimiento a diferentes niveles de sal (0-3%), aunque su uso reducía significativamente la luminosidad (L^*) y el índice de rojo (a^*) y aumentaba la dureza, la elasticidad y la masticabilidad de las salchichas cocidas, sin que se observaran efectos positivos en la cohesividad de las mismas.

Como sustituto de los fosfatos en la elaboración de productos cárnicos también se ha evaluado el empleo de **almidón**, cuyo uso es habitual en productos de alto rendimiento para la retención de agua. Los almidones son polisacáridos que gelifican por acción del calor, a temperaturas entre 65 y 75 °C, formando una trama

tridimensional que retiene abundantes cantidades de agua. No obstante, hay que tener en cuenta que, en general, soportan mal las temperaturas excesivamente elevadas, las cocciones prolongadas y presentan problemas de retrogradación (Freixanet, 2010). Por ello, se han desarrollado los almidones modificados, en los cuales se ha modificado su estructura química con el fin de reforzar los enlaces entre las distintas cadenas y conseguir productos térmicamente más estables, menos frágiles y minimizar los fenómenos de retrogradación. 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. (2003a) 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.

Teniendo en cuenta lo expuesto, mediante el empleo de alginatos, carragenatos o almidón se suplen algunos de los efectos que ejercen los fosfatos en los preparados de carne y en los productos cárnicos en los que se emplean. Sin embargo, en el caso del jamón cocido los alginatos y los carragenatos no pueden considerarse como una alternativa a los fosfatos ya que la cantidad máxima permitida de estabilizantes/espesantes (agar-agar+alginatos+carragenatos) es 0,5% (BOE, 1983) y en los productos cárnicos ecológicos su uso no está permitido. En cuanto al almidón, aunque en la elaboración de productos ecológicos se permite el uso de almidón de arroz y maíz de cera como ingredientes de origen agrario que no han sido producidos ecológicamente (DOUE, 2008), en la elaboración de jamón cocido no está permitido (BOE, 1983). Por tanto, en la elaboración de jamón cocido ecológico ninguno de los compuestos anteriormente descritos sería una alternativa viable al uso de fosfatos.

2.6.2.2. Aplicación de altas presiones hidrostáticas

Las altas presiones hidrostáticas (APH) es una de las tecnologías emergentes para procesar alimentos que más ha crecido en los últimos años. El procesado de alimentos por APH está clasificado como pasteurización no térmica o procesado mínimo (Nunes y Grébol, 2011). Esta tecnología consiste en someter a los alimentos, previamente envasados, a una presión hidrostática, que industrialmente

2. Revisión Bibliográfica

puede llegar a los 600 MPa (6.000 bares), durante unos segundos o minutos, usando agua como medio transmisor (Purroy y col., 2009; Nunes y Grébol, 2011). Generalmente, la aplicación de APH se realiza a temperaturas entre 5 y 12°C y tiene como principal objetivo la inactivación de microorganismos y enzimas, aunque puede ser usada también en la creación de nuevas texturas y productos.

La mayoría de los estudios realizados en los que se han aplicado APH han sido centralizados en el efecto que éstas ejercen en la inhibición de determinados microorganismos, incrementando de este modo la vida útil de los productos cárnicos. Mediante la aplicación de APH, la mayoría de microorganismos patógenos o alterantes (*E. coli*, *Listeria spp.*, *Salmonella spp.*, lactobacilos, levaduras, mohos y virus) pueden ser inactivados debido a la rotura de las paredes celulares y por la interrupción de algunas de las funciones vitales de las células (Nunes y Grébol, 2011).

En los últimos años se han realizado también algunos estudios sobre otras posibles aplicaciones de APH en alimentos, entre las que se encuentran aquellas que afectan al procesado de derivados cárnicos y su influencia en los procesos de gelificación térmica. Diversos investigadores (Cheftel y Culioli, 1997; Sangronis y col., 1997; Jiménez-Colmenero y col., 1998; Crehan y col., 2000; Iwasaki y col., 2006; Sikes y col., 2009; Hong y Chin, 2010) han indicado el potencial de las APH como técnica para modificar la textura de los alimentos, debido tanto a los cambios conformacionales que inducen en las proteínas (Cheftel y Culioli, 1997; Sangronis y col., 1997) como a que favorecen las uniones entre las moléculas de hidrógeno y los grupos disulfuros de las proteínas, contribuyendo así a la gelación de las mismas (Hong y Chin, 2010).

La desnaturalización de las proteínas por la presión es un fenómeno complejo que depende de la estructura de las proteínas, del intervalo de presión, del pH y de la composición del disolvente. En las moléculas de proteínas, la alta presión afecta sobre todo a los enlaces electrostáticos e hidrofóbicos, provocando desprotonización de los grupos cargados, rotura de puentes salinos y rotura de enlaces hidrofóbicos, lo que ocasiona cambios conformacionales y estructurales (Barbosa-Cánovas y col., 1998). Diversos estudios bioquímicos han puesto de manifiesto que la utilización de presiones superiores a 100-200 MPa, a temperatura ambiente, causan (1) disociación de las estructuras oligoméricas en sus sub-

unidades, (2) desdoblamiento y desnaturalización parcial de las estructuras monoméricas (en la mayoría de los casos irreversible), (3) agregación de proteínas (debido probablemente al desdoblamiento) y (4) gelación de proteínas (Cheftel y Culioli, 1997). Sin embargo, no existe un modelo general de desnaturalización de las proteínas por la presión, requiriéndose niveles de presión diferentes para las distintas proteínas (Cheftel y Culioli, 1997). Es preciso indicar además que la gelificación por presión depende de las características del sistema donde se integra la proteína (especies, tipo de proteína, desintegración estructural, pH, fuerza iónica, presencia de otros compuestos como el cloruro sódico, etc.) y de las condiciones de APH (nivel de presión, tiempo y temperatura de aplicación) (Jiménez-Colmenero, 2002). Yamamoto y col. (2002), en estudios realizados con miofibrillas de pollo, observaron que la solubilización de las proteínas dependía de diversos factores como la concentración de cloruro sódico utilizada y el pH, siendo mayor la solubilización de la miosina cuando se aplicaban 200 MPa, durante 30 min a temperatura ambiente, en presencia de un 1,16% de cloruro sódico y a un pH de 7. Estos autores también indicaron que la fuerza del gel formado aumentaba a medida que aumentaba la presión aplicada cuando se añadía un 0,58% de cloruro sódico, sin embargo, permanecía constante cuando se empleaba un 1,16% de cloruro sódico. Iwasaki y col. (2006), en miofibrillas de pollo y de cerdo, también observaron que con la aplicación de 200 MPa durante 10-20 min a temperatura ambiente, aumentaba la solubilidad de las miofibrillas y la elasticidad del gel formado, aunque este parámetro disminuía si se aplicaban presiones superiores a 200 MPa. Lee y col. (2011), en miofibrillas de ternera, observaron que la aplicación de 300 MPa (5 min, 25°C) daba lugar a la precipitación de las proteínas sarcoplasmáticas y de las cadenas pesadas de la miosina y la α -actinina de las proteínas miofibrilares.

Diversos investigadores han estudiado la aplicación de APH con el fin de reducir el uso de cloruro sódico en la elaboración de productos cárnicos, como las salchichas cocidas. Crehan y col. (2000) observaron que con la aplicación de 300 MPa (5 min, 15-20°C) en salchichas cocidas, se podría reducir la concentración de cloruro sódico ya que este tratamiento aumentaba la jugosidad del producto y mejoraba los parámetros objetivos de textura (TPA) aunque suponía una disminución de las puntuaciones de la textura y el flavor cuando éstos se evaluaban con un panel de catadores. Del mismo modo, Iwasaki y col. (2006) indicaron que la

2. Revisión Bibliográfica

disminución del contenido en cloruro sódico podría ser posible mediante la aplicación de 200 MPa (10-20 min, temperatura ambiente) en miofibrillas de pollo y cerdo. Estos autores observaron que en las miofibrillas presurizadas existía una disrupción de la línea M y Z y una disociación de los filamentos gruesos y delgados de los miofilamentos, lo que permitía la extracción de proteínas miofibrilares. Por último, Sikes y col. (2009) indicaron que la aplicación de un tratamiento de 200 MPa (2 min, 10°C) en la emulsión cárnica ya embutida, permitía obtener una textura adecuada y una disminución de las pérdidas por cocinado con respecto a las emulsiones elaboradas con una cantidad reducida de cloruro sódico que no fueron tratadas con APH.

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta las premisas descritas en el capítulo de Introducción, el objetivo general de esta Tesis Doctoral fue la obtención de jamón cocido de alta calidad que pudiera ser calificado con la denominación genérica de calidad “Agricultura ecológica” (DOUE, 2008). Para la consecución de este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos parciales:

- Objetivo 1.-** Obtener jamón cocido de alta calidad, con un bajo contenido en nitritos y sin fosfatos.
- Objetivo 2.-** Reducir el tiempo de elaboración del jamón cocido de alta calidad con un bajo contenido en aditivos (nitritos y fosfatos).
- Objetivo 3.-** Obtener jamón cocido de alta calidad sin la utilización de nitritos, mediante el empleo de extractos vegetales. Optimización del proceso tecnológico.
- Objetivo 4.-** Obtener jamón cocido de alta calidad mediante la aplicación de altas presiones hidrostáticas y/o la utilización de otros aditivos, como alternativas a la utilización de fosfatos.
- Objetivo 5.-** Estudiar la vida útil, en distintas condiciones de conservación, del jamón cocido elaborado con un bajo contenido en aditivos y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales.

IV. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

4.1. PLAN DE TRABAJO

Para conseguir los objetivos planteados en la presente Tesis Doctoral, el trabajo experimental se dividió en tres capítulos en los que se realizaron siete experimentos.

En el **Capítulo 1** de la Tesis se abordó la reducción de la concentración de aditivos y del tiempo de maduración después del masajeado en la elaboración de jamón cocido de alta calidad (Objetivos 1 y 2). En este capítulo se realizaron tres ensayos diferentes:

- *Ensayo 1.1.* Reducción de la concentración de nitritos.
- *Ensayo 1.2.* Reducción de la concentración de fosfatos.
- *Ensayo 1.3.* Reducción del tiempo de maduración del jamón, después de la etapa de masajeado.

En el **Capítulo 2** de la Tesis se estudió la eliminación del uso de nitritos y/o fosfatos en la elaboración de jamón cocido (Objetivos 3 y 4), mediante la realización de los siguientes ensayos:

- *Ensayo 2.1.* Eliminación del uso de nitritos mediante la utilización de extractos vegetales junto con un cultivo iniciador.
- *Ensayo 2.2.* Eliminación del uso de fosfatos mediante la utilización de citrato sódico y/o la aplicación de altas presiones hidrostáticas.
- *Ensayo 2.3.* Eliminación del uso de nitritos y fosfatos mediante la utilización de extractos vegetales y citrato sódico, respectivamente.

En el **Capítulo 3** de la Tesis se evaluó la vida útil del jamón cocido elaborado con una cantidad reducida de nitritos y fosfatos y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (*Ensayo 3.1.*) (Objetivos 5).

4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con objeto de facilitar el seguimiento de esta Tesis, en la Tabla 4 se muestra, de forma resumida, el diseño experimental utilizado en cada uno de los ensayos que se explica de manera detallada en los siguientes apartados.

4.2.1. Ensayo 1.1: Reducción de la concentración de nitritos

Para la realización de este estudio se elaboraron tres lotes diferentes de jamón cocido, cada uno con un nivel de nitritos (E-250): 150, 80 y 40 mg /kg pernil y con una concentración fija de fosfatos (E-450-E452) de 2.000 mg/kg pernil. El nivel mínimo de nitritos se estableció en base a experimentos previos en los que se observó que cuando se utilizaban concentraciones inferiores a 40 mg/kg se producían defectos en el color del jamón cocido.

El efecto de la reducción de los nitritos se evaluó en las características tecnológicas del proceso (rendimiento) y en las características del producto final. Para ello, en cada uno de los lotes de jamón cocido, en el producto final se determinó el pH, la actividad de agua (a_w), el agua retenida (AR), la composición proximal (humedad, grasa, proteína y ceniza), el contenido en ingredientes y aditivos (cloruro sódico, nitritos y fosfatos) y se evaluó de manera instrumental el color (L^* , a^* , b^*) y la textura (TPA-Texture Profile Analyse). Además, se realizó una evaluación sensorial con un panel de catadores entrenados en el análisis de carne y productos cárnicos, mediante la realización de un perfil descriptivo del producto.

4.2.2. Ensayo 1.2: Reducción de la concentración de fosfatos

Para la realización de este estudio se elaboraron tres lotes diferentes de jamón cocido, cada uno con un nivel diferente de fosfatos (E-450-452): 2.000, 1.000 y 0 mg/kg pernil y con una concentración fija de 80 mg/kg de nitritos (E-250).

En cada uno de los lotes de jamón cocido se evaluó el efecto de la reducción de fosfatos en las características tecnológicas del proceso (rendimiento) y en las características del producto final. En el producto final se determinó el pH, la a_w , el AR, la composición proximal (humedad, grasa, proteína y ceniza), el contenido en ingredientes y aditivos (cloruro sódico, nitritos y fosfatos) y el color (L^* , a^* , b^*)

Tabla 4. Diseño experimental utilizado en los diferentes ensayos realizados en la presente Tesis Doctoral.

ENSAYO	FACTOR VARIABLE (NIVELES)	RESPUESTAS EVALUADAS
CAPITULO 1	1.1 Formulación: Nitritos (150, 80, 40 mg/kg nitritos).	Parámetros tecnológicos, físico-químicos y sensoriales.
	1.2 Formulación: Fosfatos (2.000, 1.000, 0 mg/kg fosfatos).	Parámetros tecnológicos, físico-químicos y sensoriales.
	1.3 Proceso: Tiempo maduración (72, 48, 24 horas).	Microestructura, parámetros tecnológicos, físico-químicos y sensoriales.
CAPITULO 2	2.1 Formulación y proceso: Fuente de nitritos y tiempo a 15-42°C en la cocción (80 mg/kg nitritos y 160 min, 2.200 mg/kg extracto vegetal A y 220 min, 15.000 mg/kg extracto vegetal B y 320 min).	Parámetros tecnológicos, físico-químicos y sensoriales.
	2.2 Formulación: Agente estabilizante (0, 1.000 mg/kg fosfatos, 3.000 mg/kg citratos). Proceso: Tratamiento APH (Con, Sin) y Masajeado (Con, Sin)	Parámetros tecnológicos, físico-químicos y sensoriales.
	2.3 Formulación: Fuente y cantidad de nitritos (80 mg/kg nitritos, 2.200 mg/kg extracto vegetal A) y Agente estabilizante (0, 1.000 mg/kg fosfatos, 3.000 mg/kg citratos).	Parámetros tecnológicos, físico-químicos y sensoriales.
CAPITULO 3	3.1 Formulación y condiciones de almacenamiento: Fuente de nitritos (80 mg/kg nitritos, 2.200 mg/kg-extracto vegetal A) y condiciones (luz, oscuridad). Tiempo de almacenamiento: tiempo (día 0, 7, 15 y 23 de almacenamiento).	Parámetros microbiológicos, físico-químicos y sensoriales.

y la textura (TPA) de manera instrumental. Las características sensoriales del producto final se analizaron también mediante un perfil descriptivo, realizado por un panel de catadores entrenados en el análisis de carne y productos cárnicos.

4.2.3. Ensayo 1.3: Reducción del periodo de maduración

Para evaluar la posibilidad de acortar el proceso de elaboración del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de nitritos (E-250, 80 mg /kg pernil) y fosfatos (E-450-452, 1.000 mg/kg pernil) se realizaron tres experimentos, con diferentes periodos de maduración: 72 horas (Lote 72), 48 horas (Lote 48) y 24 horas (Lote 24) después del masajeado.

Con el fin de estudiar el efecto de la duración del tiempo de maduración en las características del jamón, a lo largo del proceso de elaboración de los jamones de cada lote se realizaron diferentes determinaciones analíticas. Así, el pH y el color (L^* , a^* y b^*) se evaluaron, en el músculo *Biceps femoris*, en la materia prima, después de la inyección, después del masajeado y después de la cocción. A lo largo del proceso también se tomaron muestras histológicas en el músculo *Biceps femoris* para estudiar el efecto de la duración del tiempo de masajeado a nivel celular, mediante microscopía electrónica de transmisión (MET). Por último, en el producto final se determinaron las características tecnológicas (rendimiento), el AR, la textura (TPA) y se realizó un perfil descriptivo con un panel de catadores entrenados en el análisis de carne y productos cárnicos.

4.2.4. Ensayo 2.1: Eliminación del uso de nitritos

Con el fin de eliminar el uso de nitritos en la elaboración de jamón cocido se estudió el efecto de la utilización de distintos extractos vegetales de apio y zanahoria (2.200 mg/kg Ext-A y 15.000 mg/kg Ext-B) junto con un cultivo iniciador.

Para ello, se elaboraron 3 lotes de jamón cocido: *Lote control* con nitritos (E-250), *Lote Ext-A* y *Lote Ext-B* con extractos vegetales. Con objeto de obtener la máxima actividad del cultivo iniciador y conseguir la máxima transformación de los nitratos presentes de manera natural en los extractos vegetales en nitritos, siguiendo las instrucciones de las casas comerciales, se utilizaron diferentes tiempos en programas de cocción. Así, la temperatura en el centro del jamón se

mantuvo entre 15 y 42°C durante 160, 220 y 320 minutos en los Lotes control, Ext-A y Ext-B, respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Diseño experimental utilizado en el estudio de eliminación del uso de nitritos.

Ingredientes/Aditivos (mg/kg pernil)	Lote Control	Lote Ext-A	Lote Ext-B
Nitritos	80	0	0
Extracto de vegetales (apio y zanahoria)	0	2.200	15.000
Cultivo iniciador	0	100	100
Programa de cocción (Tiempo a 15-42°C,min)	160	220	320

En los jamones elaborados se evaluó el efecto de la utilización de distintos extractos vegetales, que llevaban implícitos diferentes programas de cocción, en las características tecnológicas del proceso (rendimiento) y en las características del producto final. Así, en el producto final se determinaron el pH, la a_w , el AR, la composición proximal (humedad, grasa, proteína y ceniza), el contenido en ingredientes y aditivos (cloruro sódico, nitritos, nitratos y fosfatos), el color (L^* , a^* , b^*) y la textura (TPA). Además, se realizó un análisis sensorial descriptivo con un panel de catadores entrenados en el análisis de carne y productos cárnicos.

4.2.5. Ensayo 2.2: Eliminación del uso fosfatos

En este ensayo, con objeto de eliminar el uso de fosfatos en la elaboración de jamón cocido se evaluó la utilización de citrato sódico, la aplicación de un tratamiento de altas presiones hidrostáticas (APH) y su uso conjunto. Para estudiar el efecto del uso de citratos se evaluaron 3 formulaciones de jamón cocido: *F*-con fosfatos (E-450-452), *C*-con citratos (E-331) y *SFC*-sin fosfatos ni citratos.

Las condiciones de aplicación de las APH se establecieron en base a un experimento preliminar en el que se aplicaron 2 presiones (200 y 300 MPa) en 3 etapas distintas del proceso de elaboración del jamón cocido (antes de inyección, después de inyección y después del masajeado). Los resultados obtenidos en este estudio, indicaron que el jamón cocido elaborado sin fosfatos presentaba mejores características cuando se aplicaba una presión de 200 MPa antes del proceso de cocción. Por otro lado, se observó que la aplicación de APH podría permitir eliminar la etapa de masajeado, por lo que se decidió incluir en este ensayo un

4. Planteamiento Experimental

tratamiento en el que en la elaboración de jamón cocido sin fosfatos y con la aplicación de APH se eliminara dicha etapa.

Una vez determinadas las condiciones de aplicación de las APH se procedió a la realización del ensayo, en el que se utilizó el diseño experimental que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Diseño experimental utilizado en el estudio de eliminación del uso de fosfatos.

Formulación (mg /kg pernil)	Tratamiento*		
F: 1.000 fosfatos	CO	—	—
C: 3.000 citratos	CO	M-APH	SM-APH
SFC: 0 fosfatos, 0 citratos	CO	M-APH	SM-APH

*CO: con masajeado y sin APH; M-APH: con masajeado y APH; SM-APH: sin masajeado y con APH.

La elaboración del jamón cocido con las 3 formulaciones seleccionadas se realizó con tres tratamientos, *CO*, *M-APH*, *SM-APH*, que se diferenciaban en la inclusión o no de la etapa de masajeado y en la aplicación o no de un tratamiento de APH antes de la cocción. Con el *Tratamiento CO*, que fue el control, se elaboraron jamones cocidos con las 3 formulaciones (F, C, y SFC) con la realización de la etapa de masajeado y sin la aplicación de APH. Con el *Tratamiento M-APH* se elaboraron jamones cocidos sin la utilización de fosfatos (formulaciones C y SFC), con masajeado y con la aplicación de altas presiones hidrostáticas. Por último, también se elaboraron jamones cocidos sin la utilización de fosfatos (formulaciones C y SFC) con el *Tratamiento SM-APH*, en el que la elaboración del jamón cocido se realizó sin masajeado y con la aplicación de alta presión.

En cada uno de los lotes elaborados se determinaron las características tecnológicas del proceso (rendimiento), el pH y se evaluó el color (L^* , a^* , b^*) y la textura (TPA) de manera instrumental. A su vez, se evaluó la loncheabilidad de los jamones y se realizó un análisis sensorial (perfil descriptivo) con un panel de catadores entrenados en el análisis de carne y productos cárnicos.

4.2.6. Ensayo 2.3: Eliminación de nitritos y fosfatos

El objeto de este ensayo fue estudiar el efecto de la eliminación simultánea del uso de nitritos (E-250) y de fosfatos (E-450-452) en la elaboración de jamón cocido. Para ello, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los Ensayos 2.1 y 2.2 se elaboraron tres lotes de jamón cocido mediante la utilización de extractos vegetales y citrato, según el diseño experimental que se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Diseño experimental utilizado en el estudio de la eliminación de nitritos y fosfatos.

Ingredientes/Aditivos (mg/kg permil)	Lote NF	Lote VF	Lote VC
Nitritos	80	0	0
Fosfatos	1.000	1.000	0
Extracto de vegetales (apio y zanahoria)	0	2.200	2.200
Cultivo iniciador	0	100	100
Citrato	0	0	3.000

*NF: nitritos-fosfatos; VF: extracto vegetal-fosfatos; VC: extracto vegetal-citratos.

El *Lote NF* (nitritos-fosfatos), que fue el control, se elaboró con 80 mg/kg de nitritos y con 1.000 mg/kg de fosfatos. Los *Lotes VF* (extracto vegetal-fosfatos) y *VC* (extracto vegetal-citratos) se elaboraron con 2.200 mg/kg de extracto vegetal que contenía apio y zanahoria y un cultivo iniciador como alternativa a los nitritos. A su vez, en la elaboración del *Lote VF* se utilizaron 1.000 mg/kg de fosfatos, y en la elaboración del *lote VC* se utilizaron 3.000 mg/kg de citrato sódico, como alternativa al uso de los fosfatos.

En cada uno de los lotes de jamón cocido elaborado se evaluaron las características tecnológicas del proceso (rendimiento) y las características del producto final. Así, en el producto final, se determinó el pH, la a_w , el AR, la composición proximal (humedad, grasa, proteína y ceniza), el contenido en ingredientes y aditivos (cloruro sódico, nitritos, nitratos y fosfatos) y se evaluó de modo instrumental el color (L^* , a^* , b^*) y la textura (TPA). Además, se evaluaron las características sensoriales mediante la realización de perfiles descriptivos, utilizando un panel de catadores entrenados en el análisis de carne y productos cárnicos.

4. Planteamiento Experimental

4.2.7. Ensayo 3.1: Estudio de la vida útil

El objetivo de este ensayo fue determinar la vida útil, en las condiciones más habituales del mercado, del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales. Para ello, se utilizó el diseño experimental incluido en la Tabla 8.

Tabla 8. Diseño experimental del estudio de la vida útil.

Formulación	Condiciones de almacenamiento	Puntos de muestreo (días)
Form. N: 80 mg/kg nitritos	Luz	0, 7, 15 y 23
	Oscuridad	
Form. V: 2.200 mg/kg extracto de vegetales (apio y zanahoria)	Luz	
	Oscuridad	

Se elaboraron 2 tipos de jamón cocido con 1.000 mg/kg de fosfatos (E-450-452): *Form. N-* con 80 mg/kg de nitritos (E-250) y *Form. V-* con 2.200 mg/kg extractos vegetales. El estudio de vida útil de cada uno de estos tipos de jamón se realizó con el producto loncheado y envasado a vacío, que se almacenó a 2°C, tanto en condiciones de oscuridad como de luz, con objeto de simular las condiciones de exposición en los supermercados.

En cada lote almacenado en diferentes condiciones, a lo largo del tiempo de almacenamiento (día 0, 7, 15 y 23), se realizaron recuentos de la flora psicrotrófa, de la flora anaerobia, de enterobacterias, de bacterias ácido lácticas y de mohos y levaduras. Además, se evaluó instrumentalmente el color (L^* , a^* y b^*) y se determinó el pH, la a_w y la oxidación lipídica (TBARS). Por último, para evaluar la evolución de las características sensoriales del producto durante el almacenamiento, en cada uno de los puntos de muestreo, se realizó una prueba de aceptación, en la que se evaluó el color, olor, sabor, la pastosidad, jugosidad y la aceptabilidad global del jamón cocido.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. MATERIAL

5.1.1. Materias primas

Para la elaboración de los jamones experimentales utilizados en esta Tesis Doctoral se utilizaron un total de 63 perniles 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, 2008) 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, 2007). 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.

Una vez sacrificados los animales, los perniles fueron acondicionados para la elaboración de jamón cocido, en la sala de despique de la empresa que cumple los requisitos higiénicos sanitarios establecidos en la legislación. Para ello, se procedió a su deshuesado, desangrado, descortezado y posterior, pulido mediante la eliminación de parte del tejido conjuntivo (Figura 11). Estas operaciones se realizaron manualmente.

Posteriormente, los perniles fueron transportados en condiciones de refrigeración a la planta piloto de la Estación Tecnológica de la Carne (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León), donde se realizó la elaboración de los distintos tipos de jamón cocido experimental.



Figura 11. Acondicionamiento de los perniles para la elaboración de jamón cocido.

5.1.2. Ingredientes y aditivos

Para la elaboración de los diferentes jamones experimentales se utilizaron los ingredientes y aditivos que se citan a continuación:

- Ascorbato sódico (E-301), suministrado por Anvisa S.A.
- Citrato sódico (E-331), suministrado por Productos Sur, S.A.
- Cloruro sódico (NaCl), suministrado por Sal Ledrada Ana S.L.
- Cultivos iniciadores (Bactoferm-CS 299), suministrados por Chr. Hansen.
- Dextrosa de trigo ecológico, suministrado por Mapryser, S.L.
- Extracto vegetal A: extracto vegetal de apio y zanahoria y extracto de levadura, suministrados por Chr. Hansen.
- Extracto vegetal B: extracto vegetal de apio y zanahoria, suministrado por Productos Sur, S.A.
- Fosfatos (E-450 iii-difosfato tetrasódico, E-451 i-trifosfato pentasódico, E-452 i-polifosfatos de sodio) (Anvifos C), suministrado por Anvisa S.A.
- Nitrito sódico (E-250), suministrado por Anvisa S.A.

5.1.3. Reactivos y soluciones químicas

Para la realización de las diferentes análisis químicos y para la preparación de soluciones se utilizaron reactivos químicos de las marcas Panreac y Sigma, de calidad reactivo P.A. (para análisis) y Q.P. (químicamente puros). En aquellos casos en los que fue necesario preparar disoluciones se utilizó agua destilada y desionizada (ADD).

Reactivos y soluciones para la cuantificación de proteínas

- Ácido bórico.
- Ácido sulfúrico concentrado (96%).
- Catalizador en tabletas (99,9% de sulfato potásico y 0,1% de selenio).
- Hidróxido sódico al 40%.
- Tris-hidroxilaminometano.

5. Material y Métodos

- Solución de indicador mixto: se disolvieron 0,2 g de azul de metileno y 0,1 g de rojo de metilo en 100 ml de etanol. Esta solución se conservó en un recipiente de color topacio.
- Solución de ácido bórico al 4% con indicador: se disolvieron 40 g de ácido bórico en 700 ml de ADD previamente calentada, y la solución obtenida se enrasó a 1 l con ADD. A esta solución se le añadieron 5 ml de la solución de indicador mixto.
- Solución de HCl 0,1 N normalizada: la normalización del HCl 0,1 N se llevó a cabo con 0,3 g de tris-hidroxilaminometano disueltos en 30 ml de ADD. La normalidad se calculó según la expresión:

$$N_{\text{HCL}}(\text{mol/l}) = \frac{(M_0 \times (1/121,14) \times 1.000)}{V_0}$$

donde M_0 es la cantidad expresada en g de tris-hidroxilaminometano, V_0 son los ml de HCl consumidos en la normalización de la solución y 121,14 g/mol es el peso molecular del tris-hidroxilaminometano.

Reactivos para la cuantificación de grasa

- Ácido clorhídrico 4 N.
- Éter de petróleo.

Reactivos y soluciones para la cuantificación de cloruros

- Ácido nítrico concentrado (1,39g/ml D_{20} $1,42$ g/ml).
- Ácido acético glacial.
- Amonio hierro III sulfato 12-hidrato.
- Nitrato de plata desecado a 150°C durante 2 horas.
- Potasio hexacianoferrato (II) 3-hidrato.
- Tiocianato potásico.
- Zinc acetato 2- hidrato.

- Solución de ácido nítrico 4 M: un volumen de ácido nítrico concentrado se mezcló con 3 volúmenes de ADD.
- Solución acuosa de hierro III y amonio sulfato (alumbre férrico) 4%: 4 g de amonio hierro III sulfato 12-hidrato se disolvieron en 100 ml de ADD.
- Solución Carrez I (solución acuosa de potasio hexacioanferrato (II)): 106 g de potasio hexacioanferrato (II) se disolvieron en 1 l de ADD.
- Solución Carrez II (solución acuosa de zinc acetato): 220 g de zinc acetato 2-hidrato se disolvieron en 500 ml de ADD, posteriormente se añadieron 30 ml de ácido acético glacial y la solución resultante se enrasó a 1 l.
- Solución de nitrato de plata 1 M: 16,989 g de nitrato de plata se disolvieron en 1 l de ADD. Esta disolución se almacenó en un bote de color topacio, protegido de la luz.
- Solución de potasio tiocianato 0,1 M: 9,7 g de tiocianato potásico se disolvieron en 1 l de ADD. La solución obtenida se estandarizó con nitrato de plata, usando sulfato férrico amónico como indicador.

Reactivos y soluciones para la cuantificación de nitratos

- Ácido sulfúrico concentrado (96%).
- Carbonato sódico anhidro (99,5%).
- Hidrógeno carbonato de sodio (99,5%).
- Nitrato sódico (99,5%).
- Ácido sulfúrico 50 mmol/l: 2,8 ml de ácido sulfúrico concentrado (96%) se trasvasaron a un matraz aforado de 1.000 ml que se enrasó con agua ADD.
- Disolución de nitrato sódico: 1 g de nitrato sódico se disolvió en 1 l de ADD, y 10 ml de la disolución anterior se disolvieron con 100 ml de ADD, obteniéndose la solución patrón final.
- Fase móvil: 168 mg de hidrógeno carbonato de sodio y 678 mg de hidrógeno carbonato sódico se trasvasaron a un matraz aforado de 2 l que se enrasó con agua ADD. Posteriormente, la solución se filtró con un filtro de membrana de 0,2 μm .

5. Material y Métodos

Reactivos para la cuantificación de nitritos

- α -naftilamina cloruro.
- Ácido acético glacial.
- Ácido sulfanílico.
- Cloruro sódico.
- Sodio nitrito.
- Solución Carrez I (solución acuosa de potasio hexacioanferrato (II)): 106 g de potasio hexacioanferrato (II) se disolvieron en 1 l de ADD.
- Solución Carrez II (solución acuosa de zinc acetato): 220 g de zinc acetato 2-hidrato se disolvieron en 500 ml de ADD, posteriormente se añadieron 30 ml de ácido acético glacial y la solución resultante se enrasó a 1 l.
- Solución de cloruro sódico al 10%: 100 g de cloruro sódico se disolvieron en 1 l de ADD.
- Solución I: 6 g de ácido sulfanílico se disolvieron, al baño María, en 200 ml de ácido acético glacial y 400 ml de ADD. Posteriormente, se añadieron 200 ml de cloruro sódico al 10% y el volumen final se enrasó a 1 l con ADD. Esta solución se almacenó protegida de la luz en un frasco de color topacio.
- Solución II: tras disolver 0,3 g de α -naftilamina cloruro en 100 ml de ADD, la solución obtenida se filtró y se añadieron 200 ml de ácido acético glacial, enrasándose el volumen a 1 l con ADD. Esta solución se almacenó protegida de la luz en un frasco de color topacio.
- Reactivo colorimétrico: se obtuvo mezclando volúmenes iguales de las soluciones I y II.
- Solución patrón de sodio nitrito: 1 g de sodio nitrito se disolvió en 1 l de ADD, y 5 ml de la solución anterior se disolvieron en 1 l de ADD.

Reactivos y soluciones para la cuantificación de fosfatos

- Ácido nítrico (60%).
- Ácido sulfúrico (96%).

- Amonio molibdato 4-hidrato.
- Amonio meta-vanadato.
- Hidrógeno peróxido (30% p/v, 100 vol.).
- Potasio di-hidrógeno fosfato.
- Selenio metálico.
- Ácido sulfúrico diluido 1:10: 100 ml de ácido sulfúrico al 96% se diluyeron en 900 ml de ADD.
- Reactivo molibdato-vanadato: se obtuvo mezclando volúmenes iguales de la solución de amonio meta-vanadato y la solución de amonio molibdato.
- Solución de amonio meta-vanadato: 2,5 g de amonio meta-vanadato se disolvieron en 500 ml de ADD en ebullición. Tras enfriar la solución, se añadieron 20 ml de ácido nítrico al 60%, y se enrasó el volumen a 1 l con ADD.
- Solución de amonio molibdato: 100 g de amonio molibdato 4-hidrato se disolvieron en 500 ml de ADD a 50°C. Después de enfriar la solución, se añadieron 100 ml de ácido sulfúrico al 96% y se enrasó a 1 l con ADD.
- Solución patrón de potasio di-hidrógeno fosfato (1 mg de P/ml): 4,393 g de potasio di-hidrógeno fosfato, previamente secado durante dos horas a 105°C en una estufa, se diluyeron en 1 l de ADD.

Reactivos y soluciones para la cuantificación de la oxidación lipídica

- Dow antifoam C emulsion (antiespumante).
- Ácido clorhídrico (37%).
- Ácido tiobarbitúrico (TBA).
- 1,1,3,3 tetraetoxipropano (TEP).
- Ácido clorhídrico (1:2): 100 ml de ácido clorhídrico se mezclaron con 100 ml de ADD.
- Solución de TBA: 0,2884 g de ácido tiobarbitúrico se trasvasaron a un matraz aforado de 100 ml, que se enrasó con ADD.

5.2. MÉTODOS

5.2.1. Elaboración de jamón cocido (procedimiento general)

A continuación se describe de forma generalizada el proceso utilizado para la elaboración de jamón cocido que, en todos los casos, se realizó con un 20% de inyección y con merma. Las condiciones específicas utilizadas en cada uno de los ensayos realizados se detallan en los subapartados incluidos posteriormente.

En cada uno de los ensayos llevados a cabo, en primer lugar, el agua necesaria para la **preparación de la salmuera**, se dejó en reposo 24 horas con el fin que la mayor parte del cloro presente 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 2°C. Posteriormente, se seleccionaron los ingredientes y aditivos para la elaboración de la salmuera y se disolvieron en el agua utilizando una batidora, modelo PBC (Inoxpa, Gerona, España) hasta su completa homogenización (Figura 12). Todo el proceso de elaboración de la salmuera se realizó en condiciones de refrigeración, para asegurar que su temperatura se mantuviera por debajo de 5°C.



Figura 12. Elaboración de la salmuera.

La incorporación de los ingredientes al agua se realizó siguiendo un determinado orden, con el fin de evitar que éstos reaccionaran entre sí prematuramente y perdieran efectividad. Así, cuando en la formulación de la salmuera se utilizaron fosfatos o citrato sódico, éstos se añadieron los primeros. A continuación, se añadió la dextrosa, el nitrito sódico junto con el cloruro sódico y finalmente se añadió el ascorbato sódico disuelto en agua.

En aquellos casos en que se utilizaron extractos vegetales y cultivos iniciadores, los extractos vegetales se añadieron a la salmuera después de la dextrosa y los cultivos iniciadores se añadieron al final del proceso de elaboración de la salmuera.

En todos los ensayos, la elaboración del jamón cocido se realizó con un 20% de **inyección**, es decir en cada pernil se incorporó un 20% de salmuera. La inyección se hizo a baja presión (1 bar) en una inyectora multiagujas CH-14 equipada con un tenderizador (Ogalsa, Gerona, España) (Figura 13). Para comprobar que el pernil recibía el porcentaje de inyección adecuado se realizaron controles de peso.



Figura 13. Inyección de la salmuera en una inyectora multiagujas.

Tras la inyección, los perniles se introdujeron en un bombo de maceración SM-Pulmax 200 Lts. (Technical, Gerona, España) a 4° C, para llevar a cabo la etapa de **masajeado-maduración** (Figura 14), cuya duración fue de 5 días. Durante las 6 primeras horas, en el bombo se intercalaron periodos de tratamiento mecánico (45 minutos a una velocidad de 4 r.p.m) con periodos de reposo (15 minutos),

5. Material y Métodos

posteriormente, los perniles se dejaron en reposo dentro del bombo, para su maduración. Al día siguiente, durante 6 horas se repitió el mismo tratamiento mecánico, permaneciendo los perniles en reposo dentro del bombo el resto del día y dos días más. En el quinto día, los perniles se masajearon durante 45 minutos a 4 r.p.m y se dejaron 15 minutos de reposo en el bombo, antes de llevarlos a cocción.

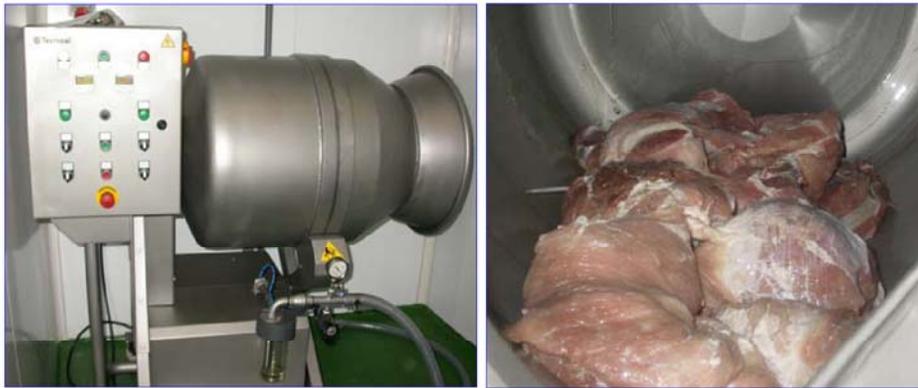


Figura 14. Bombo de masajeado y perniles dentro del bombo.

Antes de llevar los perniles a cocción, se realizó el vacío en los mismos utilizando una amasadora-mezcladora al vacío Alfa-100 (Solitec S.L., Barcelona) (Figura 15). El objetivo de este tratamiento fue eliminar el aire atrapado entre los distintos músculos del jamón para evitar defectos en la textura del producto final.



Figura 15. Realización de vacío en el pernil en una amasadora-mezcladora.

A continuación, los perniles se envolvieron en un film micro perforado para facilitar la salida de jugos durante la cocción y así, conseguir la elaboración de jamón cocido con merma, y se introdujeron en moldes “tipo canario” de acero inoxidable para su cocción (Figura 16).



Figura 16. Pernil dentro de un molde de acero inoxidable “tipo canario”.

La **cocción** se llevó a cabo en un horno Junior 1100 (Verinox, Vigolo Vattaro, Italia) (Figura 17), controlándose la temperatura tanto en el interior del horno como en el interior del producto.



Figura 17. Horno en el que se llevó a cabo la cocción.

5. Material y Métodos

El proceso de cocción se realizó en varias fases, en las que el aumento de la temperatura se hizo de forma escalonada:

- 1ª fase: la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 55°C durante 2,5 horas,
- 2ª fase: la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 65°C durante 2,5 horas,
- 3ª fase: la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 72°C hasta que se alcanzaron 68°C en el interior del producto,
- 4ª fase: la temperatura en el interior del horno se mantuvo a 72°C hasta que la temperatura en el interior del producto se mantuvo a 68°C durante 15 minutos.

En la siguiente gráfica (Figura 18) se muestra la evolución de la temperatura en el interior del horno y en el producto a lo largo del proceso de cocción:

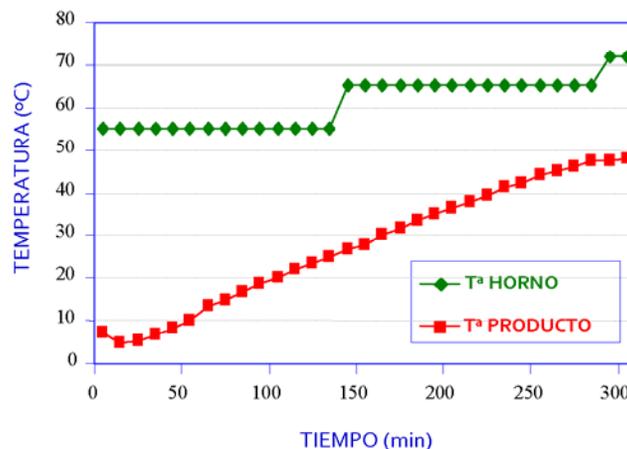


Figura 18. Temperatura en el interior del horno y del producto durante la cocción.

Finalmente, se procedió al **enfriado** de los jamones, que se realizó en dos etapas. La primera etapa tuvo lugar en el horno, donde los jamones recibieron una ducha con agua fría. En la segunda etapa, los moldes se sumergieron en agua con hielo y se almacenaron en una cámara de refrigeración a 2°C hasta que la temperatura en el interior de la pieza fue en torno a 2°C.

5.2.1.1. Elaboración de jamón cocido - Estudio de reducción de nitritos

En el Ensayo 1.1 de la presente Tesis Doctoral, para la elaboración de jamón cocido se utilizaron un total de 9 perniles procedentes de cerdos blancos ecológicos, que se dividieron en 3 lotes y fueron elaborados con 3 concentraciones de nitritos. La composición de las salmueras utilizadas para la elaboración de cada uno de estos lotes se muestra en la Tabla 9. La elaboración del jamón cocido se realizó siguiendo el proceso descrito en el apartado 5.2.1.

Tabla 9. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 1.1.

Ingredientes/Aditivos (%)	Lote 150 *	Lote 80*	Lote 40*
Agua	87,0	87,1	87,1
Fosfatos	1,2	1,2	1,2
Dextrosa	3,0	3,0	3,0
Cloruro sódico	8,4	8,4	8,4
Nitrito sódico	0,09	0,05	0,02
Ascorbato sódico	0,3	0,3	0,3

* Concentración de nitritos (mg /kg pernil).

5.2.1.2. Elaboración de jamón cocido - Estudio de reducción de fosfatos

Para llevar a cabo el Ensayo 1.2 se utilizaron 9 perniles de cerdo blanco ecológico para elaborar jamón cocido con diferentes cantidades de fosfatos: 2.000 mg/kg pernil (Lote 2.000), 1.000 mg/kg pernil (Lote 1.000) y 0 mg/kg pernil (Lote 0). En la Tabla 10, se puede observar la composición de las salmueras utilizadas para la elaboración de cada uno de los lotes, que se llevó a cabo siguiendo el procedimiento general de elaboración del jamón cocido (apartado 5.2.1).

Tabla 10. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 1.2.

Ingredientes/Aditivos (%)	Lote 2.000*	Lote 1.000*	Lote 0*
Agua	87,1	87,7	88,3
Fosfatos	1,2	0,6	0
Dextrosa	3,0	3,0	3,0
Cloruro sódico	8,4	8,4	8,4
Nitrito sódico	0,05	0,05	0,05
Ascorbato sódico	0,3	0,3	0,3

* Concentración de fosfatos (mg/ kg pernil).

5. Material y Métodos

5.2.1.3. Elaboración de jamón cocido - Estudio de reducción de la maduración

En el Ensayo 1.3 del Capítulo 1, se utilizaron 12 pernils procedentes de cerdo blanco ecológico, para la elaboración de jamón cocido con diferentes periodos de maduración: 72 horas (Lote 72), 48 horas (Lote 48) y 24 horas (Lote 24).

En la elaboración de estos jamones se utilizó una salmuera que contenía 87,6% de agua, 0,6% de fosfatos, 3,0% de dextrosa, 8,4% de cloruro sódico, 0,5% de nitrito sódico y 0,3% de ascorbato sódico. El proceso de elaboración de estos jamones cocidos se realizó siguiendo el proceso descrito en el apartado 5.2.1., a excepción del periodo de maduración que se describe a continuación (Tabla 11).

Tabla 11. Ciclos de masajeado y periodos de maduración en cada experimento.

Día de elaboración	Lote 72	Lote 48	Lote 24
1	Masajeado (6 h)* + Maduración	Masajeado (6 h)* + Maduración	Masajeado (6 h)* + Maduración
2	Masajeado (6 h)* + Maduración	Masajeado (6 h)* + Maduración	Masajeado (6 h)* + Maduración
3	Maduración	Maduración	Masajeado (1 h)** + Cocción
4	Maduración	Masajeado (1 h)** + Cocción	----
5	Masajeado (1 h)** + Cocción	----	----
Tiempo total maduración	72 h	48 h	24 h

*6 h de masajeado (45 minutos tratamiento mecánico y 15 minutos de reposo).

**1 h de masajeado (45 minutos tratamiento mecánico y 15 minutos de reposo).

En todos los lotes, tal y como se observa en la Tabla 11, en los dos primeros días de elaboración (días 1 y 2) se realizó el mismo ciclo de masajeado y maduración. En el día 1, una vez inyectados los jamones fueron masajeados en un bombo durante 6 horas, donde cada 45 minutos de tratamiento mecánico se realizó una fase de reposo de 15 minutos. Posteriormente, estos jamones permanecieron en el bombo en reposo (maduración) hasta el día siguiente (día 2), en el que se repitió el mismo proceso que en el día 1. En el día 3, los jamones del Lote 24 fueron masajeados durante 1 hora y posteriormente, se realizó el proceso de cocción. Los jamones de los Lotes 48 y 72 se dejaron madurar 24 (día 4) y 48 (días 4 y 5) horas más, respectivamente, antes del masajeado final de 1 hora, previo a la cocción. De

esta manera, el tiempo de maduración total en el Lote 24 fue de 24 horas, en el Lote 48 de 48 horas y en el Lote 72 de 72 horas.

5.2.1.4. Elaboración de jamón cocido - Estudio de eliminación de nitritos

En el Ensayo 2.1 (Capítulo 2) de esta Tesis, se utilizaron 9 pernils de cerdo blanco ecológico para la elaboración de 3 lotes de jamón cocido: Lote Control-elaborado con nitritos, Lote Ext-A y Lote Ext-B elaborados con 2.200 mg/kg y con 15.000 mg/kg, respectivamente, de extracto vegetal de apio y zanahoria. En la elaboración de cada lote, durante el proceso de cocción la temperatura en el interior del pernil se mantuvo a 15-42°C diferentes tiempos. Así, durante la cocción del Lote Control la temperatura en el interior del jamón se mantuvo entre 15-42°C 160 min, en el Lote Ext-A, 220 min y en Lote Ext-B, 320 min.

La composición de las salmueras utilizadas en este ensayo se muestra en la Tabla 12. En aquellos casos en que se utilizó un extracto vegetal como fuente de nitritos se añadió también un cultivo iniciador (*Staphylococcus carnosus*). El extracto vegetal y el cultivo iniciador se utilizaron siguiendo las recomendaciones dadas por la casa comercial donde se adquirieron estos preparados. Las cantidades de extracto vegetal a añadir en cada una de las salmueras se calcularon para obtener una concentración de nitratos de 66 mg/kg pernil.

Tabla 12. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 2.1.

Ingredientes/ Aditivos (%)	Lote control	Ext-A	Ext-B
Agua	87,7	86,3	78,6
Fosfatos	0,6	0,6	0,6
Dextrosa	3	3	3
Cloruro sódico	8,4	8,4	8,4
Nitritos	0,05	0	0
Extracto vegetal (apio y zanahoria)	0	1,3	9,0
Cultivo iniciador (<i>Staphylococcus carnosus</i>)	0	0,06	0,06
Ascorbato sódico	0,3	0,3	0,3

Todos los lotes se elaboraron siguiendo el proceso general descrito anteriormente, en el apartado 5.2.1 de esta Tesis, a excepción del proceso de

5. Material y Métodos

cocción, que se modificó para la elaboración de los Lotes Ext-A y Ext-B. Así, se utilizaron tres programas de cocción diferentes (160 min, 220 min y 320 min), en los que la subida de temperatura en el interior del horno y del producto se realizó con diferentes rampas temperatura/tiempo, de manera que el tiempo que se mantuvo la temperatura en el interior del jamón a 15-42°C fue diferente en cada programa de cocción. En la Tabla 13 se muestran las condiciones de temperatura y tiempo utilizadas en cada uno de estos programas.

Tabla 13. Programas de cocción utilizados en el Ensayo 2.1.

Programa de cocción (tiempo a 15-42°C)	Temperatura (°C)		Duración (h)
	Horno	Producto	
160 min	55	--	3,3
	65	--	2,3
	72	68	*
220 min	40	--	2,3
	50	--	2,3
	72	68	*
320 min	40	25	3,0
	45	40	2,0
	50	45	1,0
	55	50	1,0
	65	55	2,0
	72	68	*

*Los jamones se cocieron a 72°C hasta que en el interior del jamón se alcanzó 68°C, manteniéndose esta temperatura en el interior del jamón 15 minutos.

El programa de cocción 160 min, utilizado en la cocción del Lote Control fue el incluido en el procedimiento general (apartado 5.2.1), siendo el tiempo de permanencia de los jamones en el rango de temperatura 15-42°C de 160 minutos.

En los programas de cocción 220 y 320 min, utilizados para la elaboración de los Lotes Ext-A y Ext-B, respectivamente, el tiempo de permanencia del jamón a 15-42°C fue mayor, 220 y 320 minutos, respectivamente.

En la Figura 19 se muestran los gráficos tiempo/temperatura correspondientes a los programas de cocción 160, 220 y 320 min, utilizados en este ensayo.

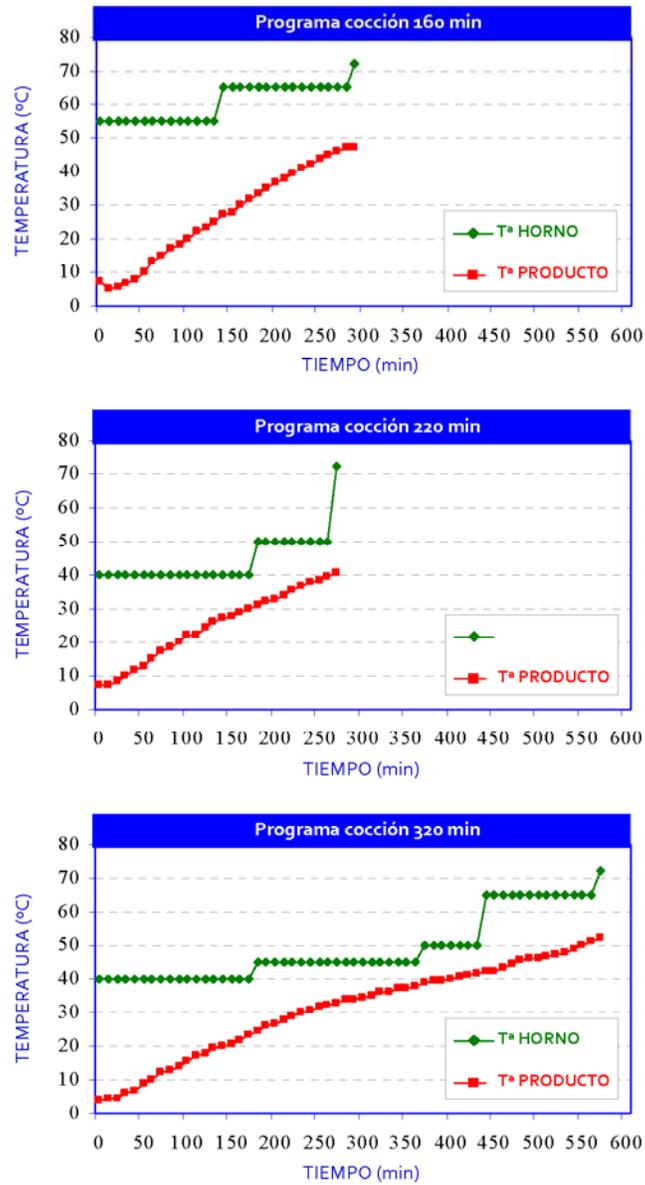


Figura 19. Temperatura en el interior del horno y del producto en los diferentes programas de cocción utilizados en el Ensayo 2.1.

5.2.1.5. Elaboración de jamón cocido - Estudio de eliminación de fosfatos

Para llevar a cabo el Ensayo 2.2 se utilizaron 15 pernils procedentes de cerdos blancos ecológicos para la elaboración de diferentes lotes de jamón cocido, en los que se utilizaron 3 salmueras: con fosfatos (Formulación F), con citratos (Formulación C), sin fosfatos ni citratos (Formulación SFC) y se realizaron tres tratamientos distintos (CO, M-APH, SM-APH). En la Tabla 14 se puede observar la composición de estas salmueras.

Tabla 14. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 2.2.

Ingredientes/ Aditivos (%)	Form. F	Form. C	Form. SFC
Agua	87,7	86,5	88,3
Fosfatos	0,6	0	0
Citrato sódico	0	1,8	0
Dextrosa	3,0	3,0	3,0
Cloruro sódico	8,4	8,4	8,4
Nitrito sódico	0,05	0,05	0,05
Ascorbato sódico	0,3	0,3	0,3

Para la elaboración de los diferentes lotes se realizaron tres tratamientos distintos (CO, M-APH, SM-APH). Así, en el tratamiento CO, los lotes F, C y SFC se elaboraron siguiendo el proceso general de elaboración de jamón cocido descrito en el apartado 5.2.1. En el tratamiento M-APH, los lotes C y SFC, se elaboraron siguiendo el proceso general de elaboración del jamón cocido, con la excepción que, antes de la etapa de cocción los jamones fueron tratados con altas presiones hidrostáticas. En el tratamiento SM-APH, los lotes C y SFC se elaboraron siguiendo el proceso general de elaboración de jamón cocido pero sin la realización de la etapa de masajeado y además, los jamones fueron tratados con altas presiones hidrostáticas antes del proceso de cocción.

El tratamiento con APH consistió en la aplicación de 200 MPa durante 10 minutos. Para ello, se procedió al envasado a vacío de los pernils inyectados (tratamiento SM-APH) y masajeados (tratamiento M-APH) utilizando una envasadora Tecnos CVP A-300 (Barcelona, España). La aplicación de las APH se realizó con un equipo industrial Wave 6000/135 (NC. Hyperbaric, -Burgos, España) equipado con un recipiente con una capacidad de 135 l (Figura 20). Como

fluido transmisor de la presión se utilizó agua libre de aditivos, siendo la temperatura inicial del agua de aproximadamente 15 °C. La presión de trabajo se alcanzó en un tiempo de 1 minuto y la descompresión fue prácticamente instantánea.



Figura 20. Equipo para la aplicación de altas presiones.

5.2.1.6. Elaboración de jamón cocido - Estudio de eliminación de nitritos y fosfatos

En el Ensayo 2.3 se utilizaron 9 pernils procedentes de cerdos blancos ecológicos para la elaboración de tres lotes de jamón cocido en los que se utilizaron 3 salmueras diferentes (Tabla 15): con nitritos y fosfatos (Lote NF), con extractos vegetales y fosfatos (Lote VF) y con extracto vegetales y citratos (Lote VC).

Tabla 15. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 2.3.

Ingredientes/ Aditivos (%)	Lote NF	Lote VF	Lote VC
Agua	87,7	86,6	85,5
Fosfatos	0,6	0,6	0
Citrato sódico	0	0	1,8
Dextrosa	3,0	3,0	3,0
Cloruro sódico	8,4	8,4	8,4
Nitrito sódico	0,05	0	0
Extracto de vegetales (Ext. A)	0	1,3	1,3
Cultivo iniciador (<i>Staphylococcus carnosus</i>)	0	0,06	0,06
Ascorbato sódico	0,3	0	0

5. Material y Métodos

Todos los jamones cocidos se elaboraron siguiendo el procedimiento general de elaboración de este producto, descrito en el apartado 5.2.1 de la presente Tesis, a excepción de la etapa de cocción. La cocción se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Ensayo 2.1 del Capítulo 2 de la Tesis, donde se optimizó esta etapa para la elaboración de jamón cocido con extractos vegetales y con un cultivo iniciador.

5.2.1.7. Elaboración de jamón cocido -Estudio de vida útil

En el Ensayo 3.1 del Capítulo 3 de la presente Tesis Doctoral se utilizaron 6 pernils procedentes de cerdo blanco ecológico para la elaboración de dos lotes de jamón cocido con fosfatos: uno con nitritos (Form. N) y el otro con extractos vegetales (Form. V). En la Tabla 16 se puede observar la composición de las salmueras utilizadas en la elaboración de estos lotes.

Tabla 16. Composición de las salmueras utilizadas en el Ensayo 3.1.

Ingredientes/ Aditivos (%)	Form. N	Form. V
Agua	87,7	86,3
Fosfatos	0,6	0,6
Dextrosa	3,0	3,0
Cloruro sódico	8,4	8,4
Nitrito sódico	0	0,05
Extracto de vegetales (Ext. A)	0	1,3
Cultivo iniciador (<i>Staphylococcus carnosus</i>)	0	0,06
Ascorbato sódico	0,3	0,3

Los dos lotes se elaboraron siguiendo el proceso general de elaboración del jamón cocido descrito en el apartado 5.2.1, a excepción del proceso de cocción en el Lote Form. V, que se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Ensayo 2.1.

5.2.2. Envasado y almacenamiento del jamón cocido

Una vez obtenidos los distintos jamones experimentales se procedió a su envasado a vacío, manteniéndose en refrigeración a 2°C, en una cámara en oscuridad, hasta el momento de la realización de las determinaciones analíticas establecidas en cada ensayo.

Por otro lado, para realizar el estudio de vida útil, en el Ensayo 3.1 (Capítulo 3) el jamón cocido elaborado se loncheó y se envasó a vacío. El loncheado se realizó a 1,5 mm de grosor utilizando una lonheadora GC-250 (Sammic, Guipúzcoa, España) (Figura 21). A continuación, se colocaron 3-4 lonchas de jamón cocido (100-150 g aproximadamente) en una bandejas de material plástico termosellable (SCEVX darfresh®, Sealed air S.L. Cryovac, Barcelona, España), cuya permeabilidad al oxígeno era inferior o igual a $2 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}/\text{bar}$.



Figura 21. Preparación de las bandejas de jamón cocido loncheado.

El envasado a vacío de las lonchas de jamón cocido se realizó en una envasadora semi automática (VS26 darfresh®, Sealed air S.L. Cryovac, Barcelona, España) utilizando un film superior coextruido (TH 300 darfresh®, Sealed air S.L. Cryovac, Barcelona, España) cuya permeabilidad al oxígeno era igual o inferior a $2 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}/\text{bar}$ y la permeabilidad al vapor de agua era igual o inferior a $8 \text{ g}/\text{m}^2/24 \text{ h}$. Este film se selló por calor a las bandejas de material plástico termosellable. En la Figura 22 se muestra el aspecto de los envases de jamón cocido loncheado obtenidos.

La conservación de las bandejas de jamón cocido obtenidas se realizó a 2°C , tanto bajo condiciones de luz como de oscuridad. El almacenamiento de las bandejas almacenadas en oscuridad se realizó en una cámara frigorífica que únicamente se abrió para sacar las bandejas correspondientes a cada día de muestreo.

5. Material y Métodos



Figura 22. Bandeja de jamón cocido loncheado envasado a vacío con una termoselladora.

El almacenamiento en condiciones de luz se realizó en un mural refrigerado Odessa 2 (Arneg portuguese, Portugal) cuya temperatura se programó a 2°C. En la Figura 23 se muestra la temperatura registrada en el interior del mural durante 24 horas. Puede observarse que cada 6 horas, durante un corto periodo de tiempo, se registraron temperaturas próximas a 10 °C debido al desescarche del equipo.

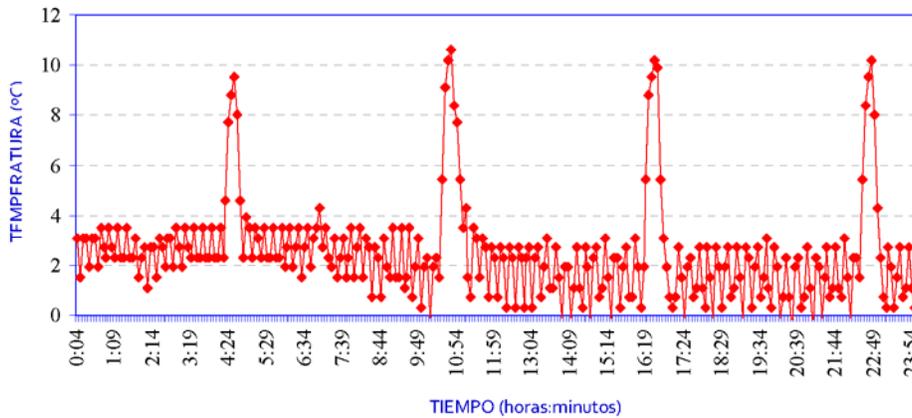


Figura 23. Temperaturas registradas en el interior del mural refrigerado durante 24 horas.

Por último, indicar que para simular las condiciones de almacenamiento de estos productos en el punto de venta, durante el estudio, el mural permaneció encendido 12 horas diarias, desde las 10:00 h hasta las 20:00 h, de lunes a sábado. Además, las bandejas de jamón cocido se cambiaron periódicamente de lugar para evitar diferencias sistemáticas en la temperatura debidas a la exposición de la luz.

5.2.3. Toma de muestra

La toma de muestra **a lo largo del proceso de elaboración** del jamón cocido (Ensayo 1.3.) se realizó en el músculo *Biceps femoris* (Figura 24). A partir de este músculo, con ayuda de un cuchillo, se cortó una muestra de aproximadamente 2 cm de grosor con objeto de determinar el pH y evaluar de manera instrumental el color (L^* , a^* y b^*). Además, con ayuda de un bisturí y teniendo en cuenta la dirección longitudinal de las fibras, se obtuvieron muestras histológicas para el estudio de la microestructura.

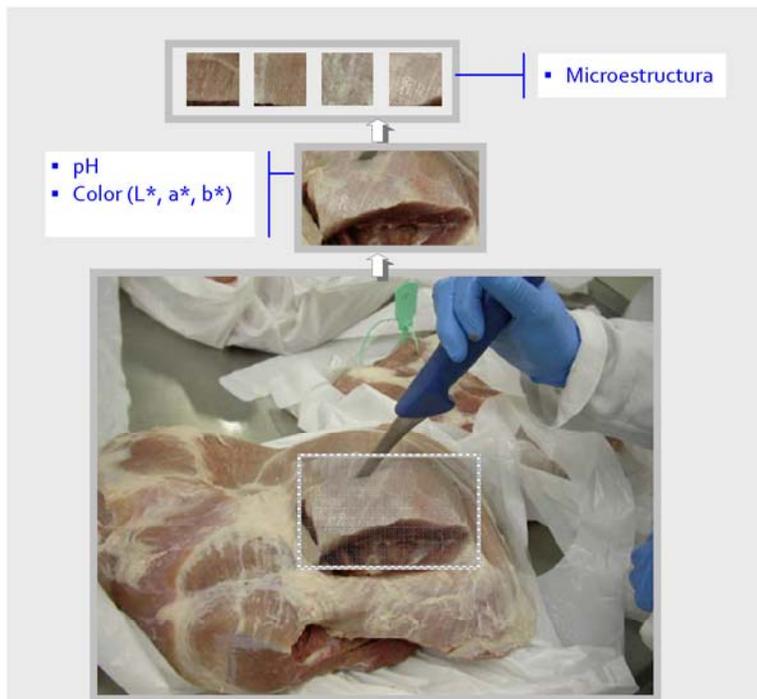


Figura 24. Toma de muestra a lo largo del proceso de elaboración.

5. Material y Métodos

Para la toma de muestras en el **producto final**, en primer lugar, se descartaron los extremos de cada jamón cocido, que se dividió en 3 partes, tal y como se observa en la Figura 25.

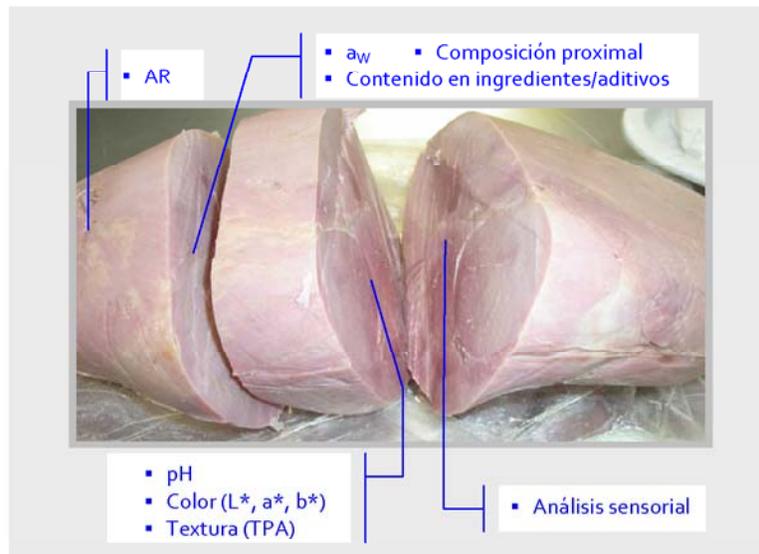


Figura 25. Distribución de las muestras para las diferentes determinaciones analíticas.

La parte central del jamón cocido se utilizó para la medida del pH, del color (L^* , a^* , b^*) y de la textura (TPA). Uno de los extremos se loncheó y se utilizó para la evaluación sensorial con un panel de catadores. El otro extremo se utilizó para la toma de la muestra destinada a la evaluación del AR y el jamón sobrante se trituroó en una picadora, para obtener la muestra destinada a la determinación de la a_w , la composición proximal (humedad, proteína, grasa, cenizas) y el contenido de cloruro sódico, nitritos, nitratos y fosfatos.

5.2.4. Cálculo de parámetros tecnológicos

5.2.4.1. Determinación del rendimiento

Con objeto de determinar el rendimiento del proceso de elaboración, se pesaron los perniles deshuesados (materia prima) y los perniles después del proceso de cocción y enfriado. El rendimiento se calculó según la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_1}{P_0} \times 100$$

donde P_0 es el peso de la materia prima, P_1 es el peso de los jamones después de la cocción y enfriado.

5.2.4.2. Determinación de la loncheabilidad

La loncheabilidad de los jamones se determinó mediante la utilización de una loncheadora (GC-250, Sammic, Guipúzcoa, España). Para ello, se cortaron 10 lonchas de jamón cocido a 1,5 mm de grosor y se contabilizaron el número de lonchas que se rompían durante el proceso de loncheado. Los resultados se expresaron como porcentaje de lonchas enteras, que no se rompían, durante el proceso de loncheado.

5.2.5. Estudio de la microestructura

La caracterización de la microestructura se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM). La microscopía TEM se basa en la utilización de un haz de electrones que, focalizados por medio de lentes electromagnéticas y operando en todo momento a alto vacío, se proyectan sobre una muestra ultrafina.

La toma de muestra y la primera fase del acondicionamiento de la muestra para el estudio de la microestructura del jamón se realizaron en el laboratorio de la Estación Tecnológica de la Carne. Una muestra de $0,3 \times 0,3 \times 0,3 \text{ cm}^3$, obtenida a partir del músculo *Biceps femoris*, se fijó con glutaraldehído al 2,5%. Posteriormente, la muestra se transportó en condiciones de refrigeración al centro Indega-LTI (León), donde se finalizó el acondicionamiento de la misma para su observación. Para ello, las muestras previamente fijadas se lavaron con tampón fosfato 0,1 M y se postfijaron con tetróxido de osmio (1-2%), tras lo cual se deshidrataron con series graduales de etanol y se incluyeron en epon (1:1 óxido propileno: resina). Finalmente, utilizando un ultramicrotomo Reichert-Jung Ultracut, las muestras se cortaron en secciones ultrafinas para su observación en un microscopio electrónico de transmisión (JEOL, 1010) a diferentes magnitudes ($\times 10.000$, $\times 20.000$).

5.2.6. Análisis físico-químicos

5.2.6.1. Determinación del pH

La determinación del *pH* se realizó en lonchas de aproximadamente 2 cm de grosor, procedente de la parte central del jamón cocido. Para ello se utilizó un pH-metro 2001 (Crisol Instrument S.A., Barcelona, España) provisto de un electrodo de *punción*. Una vez calibrado el equipo, el pH se determinó introduciendo el electrodo de *punción* en 3 puntos diferentes. En todos los jamones la localización de los puntos de muestreo fue similar (Figura 26).

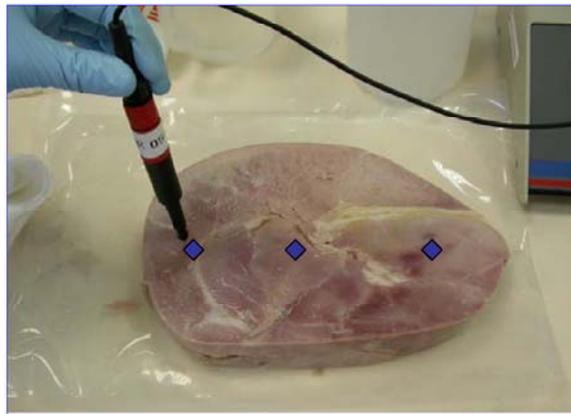


Figura 26. Medida del pH por *punción* en tres puntos diferentes.

En el estudio de vida útil (Ensayo 3.1) al ser el grosor de las lonchas de jamón cocido de 1,5 mm no fue posible la determinación del pH por *punción*, por lo que se determinó el *pH por homogenización*. Para ello, 10 g de lonchas de jamón cocido previamente trituradas fueron homogeneizados durante 1 minuto con 10 ml de agua. El homogeneizado resultante se dejó en reposo durante 10 minutos y se procedió a medir el pH utilizando un pH-metro 507 (Crisol, Barcelona, España), previamente calibrado, provisto de un electrodo estándar de pH. En cada muestra de jamón cocido se realizaron 3 determinaciones.

5.2.6.2. Determinación de la actividad de agua

De la parte del jamón cocido destinada a la determinación de la actividad de agua se tomó una muestra previamente triturada y se introdujo en una cápsula de

plástico. Con ayuda de una espátula, la muestra se distribuyó de manera homogénea, formando una capa que cubría el fondo de la cápsula.

La determinación de la actividad del agua (a_w) se realizó con un higrómetro AQUA-LAB CX-2 (Decagon, Washington, USA), mediante la determinación del punto de rocío. Una vez estabilizado el higrómetro con agua destilada y una solución de cloruro potásico, las cápsulas con la muestra se introdujeron en el equipo para la lectura digital de la a_w .

5.2.6.3. 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).

De la parte del jamón cocido destinada a la realización de este análisis, se extrajo, con un sacabocados, una muestra de $10 \pm 0,5$ g, que se envolvió en un papel de filtro. Posteriormente, la muestra con el papel de filtro se colocó en un tubo de poliestireno, en el que se había introducido algodón hidrófilo, para ser centrifugada a 9.000 g y a 4°C durante 10 minutos, en una centrífuga modelo 3K, 30, (Sigma, Madrid, España). La función del algodón hidrófilo fue absorber el agua liberada por la muestra, que no quedó retenida en el papel de filtro. Una vez centrifugada la muestra y tras eliminar el papel de filtro que la envolvía se determinó su peso.

El porcentaje de agua retenida (AR) 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.

5.2.6.4. Determinación de la humedad

La humedad se determinó siguiendo el procedimiento gravimétrico descrito en la Norma ISO 1442 (1997), que se basa en la pérdida por desecación del contenido de agua presente en la muestra.

En una cápsula con arena de mar y una varilla se pesaron 5 g de muestra previamente triturada. Con ayuda de la varilla la muestra fue homogeneizada hasta conseguir una pasta. A continuación, la cápsula con la muestra y la varilla se introdujeron en una estufa a 103°C donde permanecieron hasta que su peso fue constante. Posteriormente, la cápsula con la muestra desecada y la varilla se enfriaron en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, para finalmente ser pesadas.

El porcentaje de humedad se calculó según la ecuación:

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

donde P_0 es el peso en g de la cápsula, la varilla y la arena de mar, P_1 es el peso en g de la cápsula, la varilla, la arena de mar y la muestra antes del secado, P_2 es el peso en g de la cápsula, la varilla, la arena de mar y la muestra después del secado.

5.2.6.5. Determinación de proteínas

La determinación de proteína bruta se realizó según el procedimiento ISO R-937 (1978) en el que el nitrógeno total presente en la muestra, correspondiente a la fracción mineral proteica y no proteica, se calcula 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 de un factor de conversión de 6,25.

Sobre papel desengrasado se pesó 1 g de muestra previamente triturada y homogeneizada y se añadió a un tubo de digestión junto con 15 g de catalizador (99,9% de sulfato potásico y 0,1% de selenio) y 25 ml de H_2SO_4 concentrado (96%), colocándose a continuación en un bloque calefactor a 410°C (Foss-Tecator, Izasa, Barcelona, España), 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 la destilación y a la neutralización de la muestra con NaOH al 40% 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 indicador mixto, variando el color de azul a verde en función de los iones

amonio presentes en la muestra. Finalmente, para determinar la cantidad de amoníaco que había reaccionado con el ácido bórico, se realizó una valoración con una solución de HCl 0,1 N, normalizada.

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 en ml de HCl requerido para la valoración del blanco, V_2 el volumen en ml de HCl requerido para la valoración de la muestra problema, N es la normalidad de la solución de HCl, P es el peso en g de la muestra y 6,25 es el factor usado para la conversión del porcentaje de nitrógeno en proteína.

5.2.6.6. Determinación de la grasa

La determinación del contenido graso se realizó siguiendo el procedimiento gravimétrico ISO 1443 (1973) utilizando un extractor tipo Soxhlet. Dado que los lípidos presentes en la muestra pueden estar parcialmente ligados a proteínas y/o carbohidratos, previamente a la determinación de la grasa se realizó un tratamiento ácido de la misma.

Con el fin de hidrolizar las proteínas y carbohidratos presentes en la muestra, se pesaron 5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer y tras añadir 50 ml de ácido clorhídrico 4 N y unos trozos de piedra pómez, la mezcla se sometió a ebullición suave en un baño de arena (Precisem Selecta, Madrid, España) durante una hora. Tras enfriar a temperatura ambiente el hidrolizado obtenido, se procedió a su filtración en un filtro de pliegues. Posteriormente, el residuo y el filtro se lavaron cuidadosamente con agua desionizada, hasta que el agua de lavado dio reacción neutra, lo que se comprobó utilizando papel indicador de pH.

El filtro de pliegues húmedo junto con la muestra se secó en una estufa a 103°C, tras lo cual se colocó dentro de un vaso de extracción, previamente pesado, al que se añadieron 150 ml de éter de petróleo, y se procedió a la extracción de la grasa en un extractor Soxhlet (Croma, Barcelona, España). Después de varios lavados con éter de petróleo y de la evaporación del disolvente, la grasa de la muestra quedó depositada en el fondo del vaso. Tras enfriar, en un desecador, los vasos de extracción con la grasa, se procedió a determinar su peso.

El porcentaje de grasa total se calculó según la siguiente ecuación:

$$\text{Grasa bruta (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P} \times 100$$

donde P_2 es el peso en g del vaso con el extracto etéreo, P_1 es el peso en g del vaso de extracción vacío y P el peso en g de la muestra empleada.

5.2.6.7. Determinación de las cenizas

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

Una vez pesados 5 g de muestra en un crisol de porcelana, éste se introdujo en un baño de arena termostático (Precisem Selecta, España) a 100°C hasta conseguir la carbonización de la muestra. Posteriormente, se procedió a la incineración de la muestra carbonizada a 550°C en una mufla Heraeus (Hanau, Alemania) donde se mantuvo hasta conseguir cenizas completamente blancas.

El porcentaje de las cenizas se calculó según la expresión:

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

donde P_2 es el peso en g de la cápsula con las cenizas, después de la incineración, P_1 es el peso en g de la cápsula con la muestra y P_0 es el peso en g de la cápsula.

5.2.6.8. Determinación del cloruro sódico

Para determinar el contenido de cloruro sódico se procedió a su extracción y posterior análisis, siguiendo el procedimiento ISO R-1841-1 (ISO, 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 extracción, en un matraz Erlenmeyer se pesaron 10 g de muestra, previamente triturada y homogenizada, y se añadieron 100 ml de agua caliente. Posteriormente, el matraz se mantuvo en un baño de agua en ebullición durante 15 minutos. Una vez enfriada la mezcla a temperatura ambiente, se añadieron 2 ml del

reactivo Carrez I y 2 ml del reactivo Carrez II. 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 se filtró su contenido. El extracto así obtenido contenía los cloruros y los nitritos presentes en la muestra.

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

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

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

donde V_b es el volumen en ml de tiocianato gastado en la valoración del blanco, V es el volumen en ml de tiocianato gastado en la valoración de la alícuota del extracto, A es el volumen en ml tomado del extracto, P es el peso en g de muestra de la que se ha obtenido el extracto y 0,05844 es un factor de conversión calculado teniendo en cuenta que 5,844 mg de NaCl corresponden a 1 ml de la solución de nitrato de plata.

5.2.6.9. Determinación del nitrito residual

La determinación de la cantidad de nitrito residual se realizó según el método ISO 2918 (ISO, 1975). Una vez obtenido el extracto que contenía los nitritos siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo anterior, 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 una coloración rosa cuya absorbancia es medida espectrofotométricamente a 520 nm.

Para la determinación espectrofotométrica del nitrito se mezcló una alícuota de 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

5. Material y Métodos

espectrofotómetro UV/Vis, modelo DU® 640 (Beckman). La concentración de nitrito presente en el extracto se calculó por interpolación en una recta de calibrado.

Para la obtención de la recta de calibrado (Figura 27) se realizó la cuantificación del nitrito, según el método descrito anteriormente, en soluciones patrón que contenían 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5 µg/ml de nitrito sódico.

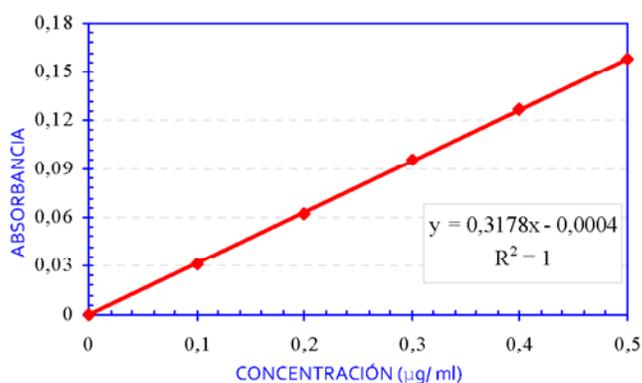


Figura 27. Recta de calibrado para la cuantificación de nitritos.

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

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

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

5.2.6.10. Determinación del nitrato residual

La cantidad de nitratos residuales se determinó mediante cromatografía líquida según el método desarrollado por Merino y col. (2000).

La extracción de los nitratos se realizó a partir de 5 g de muestra que se mezclaron con 50 ml de agua desionizada caliente (aproximadamente a 55°C), manteniéndose a esta temperatura, con agitación magnética, durante 1 hora. El extracto obtenido se llevó a un matraz aforado de 200 ml que se enrasó con agua

desionizada, filtrándose 100 ml de la disolución resultante en un papel de filtro. La solución obtenida se filtró de nuevo mediante una jeringa con un filtro de 0,45 µm y se trasvasó a un tubo cromatográfico. Posteriormente, se procedió al análisis y cuantificación de los nitratos por cromatografía líquida de alta resolución, utilizando un cromatógrafo Agilent Technologies, 1100 Series con una columna aniónica (Metrosep A Supp 5, de 250 mm de longitud y 4,0 mm de diámetro interno). El flujo de la fase móvil (NaHCO₃ 1,0 mmol/l-Na₂CO₃ 3,2 mmol/l) fue de 0,7 ml/min y el volumen de inyección fue de 10 µl. La cuantificación del nitrato se realizó mediante el uso de una recta de calibrado.

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

El contenido de nitratos expresados como mg/kg de nitrato sódico presentes en la muestra se calculó a partir de la siguiente expresión:

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

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

5.2.6.11. Determinación de los fosfatos

La determinación de fosfatos se realizó tras la determinación del contenido en fósforo de la muestra, utilizando el método colorimétrico del molibdato-vanadato (BOE, 1995). Los fosfatos presentes en la muestra se transforman, tras un proceso de hidrólisis, en ácido pirofosfórico, que reacciona con el reactivo molibdato-vanadato dando lugar a la aparición de un color amarillo, cuya absorbancia se determina espectrofotométricamente a 430 nm.

Sobre un papel desengrasado se pesó 2,5 ± 0,1 g de muestra previamente triturada y homogenizada. El papel y la muestra se introdujeron en un tubo de digestión junto con una pequeña cantidad de selenio metálico y 25 ml de ácido sulfúrico concentrado y se dejaron en reposo 12 horas. Posteriormente, se añadieron 2 ml de hidrógeno peróxido 30% p/v y los tubos de digestión se colocaron en un bloque calefactor a 410°C, hasta la obtención de una solución

5. Material y Métodos

completamente transparente. Cuando esta solución se enfrió se trasvasó a un matraz aforado de 250 ml que se enrasó con agua desionizada.

Para la determinación del fósforo se mezclaron 10 ml de la solución de la muestra digerida con 10 ml de ácido sulfúrico (1:10) y 20 ml de reactivo de molibdato-vanadato. Una vez enfriada esta solución, se completó con agua desionizada hasta 100 ml. Transcurridos 10 minutos se midió la absorbancia a 436 nm, en un espectrofotómetro UV/Vis, modelo DU® 640 (Beckman). Con este valor de absorbancia se obtuvo el contenido en fósforo, mediante su interpolación en una recta de calibrado.

La recta de calibrado (Figura 28) se obtuvo tras realizar la cuantificación del fósforo según el método anteriormente descrito, en soluciones patrón que contenían 0, 1, 10, 20, 30 y 45 $\mu\text{g/ml}$ de fósforo.

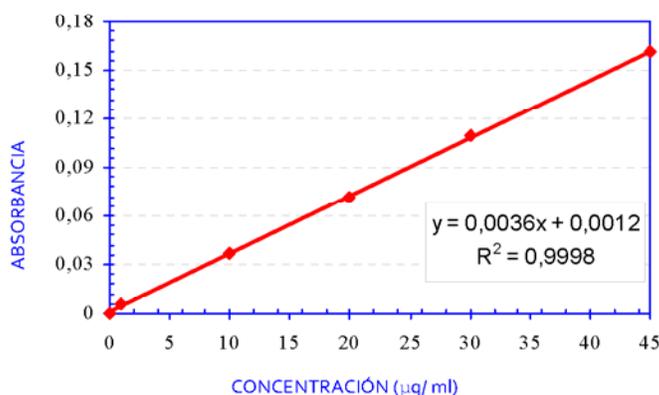


Figura 28. Recta de calibrado para la cuantificación de los fosfatos.

El contenido en fósforo total de la muestra se calculó a partir de la concentración de fósforo determinada en la recta patrón, según la siguiente ecuación:

$$\text{Fósforo (\%)} = \frac{A}{400 \times M}$$

donde A representa la concentración en μg de fósforo, obtenida a partir de la curva de calibrado y M el peso en g de la muestra.

El contenido en fosfatos, expresado como porcentaje de P_2O_5 , se calculó a partir del contenido de fósforo total de la muestra, según la siguiente expresión:

$$\text{Fosfatos (\% } P_2O_5) = 2,29 \times \text{Fósforo (\%)}$$

5.2.6.12. Determinación de la oxidación lipídica

La determinación de la oxidación lipídica se llevó a cabo mediante la cuantificación de las sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (TBARS), de acuerdo con el método descrito por Tarladgis y col. (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.

Se pesaron 10 g de muestra, previamente triturada y homogenizada, en un matraz redondo de 250 ml y se añadieron 97,5 ml de agua destilada, 2,5 ml de HCl (1:2) y 4 gotas de antiespumante. La mezcla se llevó a destilación hasta obtener 50 ml de destilado. Posteriormente, 5 ml del destilado se trasvasaron a un tubo de ensayo y se añadieron 5 ml de una solución acuosa de TBA al 0,3%, recién preparada. La mezcla se homogenizó con un rotatubos durante 30 segundos antes de ser calentada en un baño de agua a 100°C, durante 35 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, la solución obtenida se dejó enfriar y se midió su absorbancia a 532 nm, en un espectrofotómetro UV/Vis, modelo DU® 640 (Beckman), utilizando como blanco 5 ml de agua destilada junto con 5 ml de TBA al 0,3%.

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

$$\text{Malonaldehído } (\mu\text{g/g muestra}) = A \times 7,8$$

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.

5.2.6.13. Determinación instrumental del color

La evaluación instrumental del color se realizó con un espectrofotómetro CM-2600d/2500d (Konica Minolta, Aquateknia S.A., Valencia, España) en el que se determinaron los parámetros CIE, L^* (luminosidad), a^* (índice de rojo-verde) y b^* (índice de amarillo-azul) (CIE, 1976).

Una vez calibrado el equipo con un blanco de calibración, se midió el color en una loncha de aproximadamente 2 cm de grosor, procedente de la parte central del jamón cocido. El color se analizó en 3 puntos, correspondientes a un mismo músculo, en la superficie de corte de la loncha (Figura 29).



Figura 29. Medida del color con un espectrofotómetro.

5.2.6.14. Determinación instrumental de la textura

Para la determinación de la textura instrumental de los jamones cocidos elaborados en esta Tesis se utilizó un método imitativo, que recibe el nombre de 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 30), tras la realización de cada uno de los ensayos. A partir de esta curva se calculan los siguientes parámetros (Breene, 1975; Bourne, 2002):

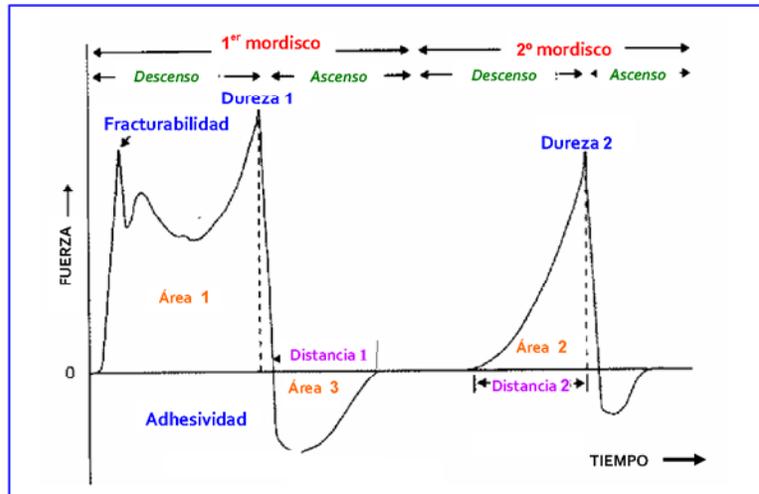


Figura 30. Curva obtenida en un perfil de textura (TPA). Fuente: Bourne (2002).

- *Dureza* (N): corresponde en la gráfica con la altura del primer pico (dureza 1). Equivale a la fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los molares o entre la lengua y el paladar, dependiendo de la naturaleza del producto.
- *Cohesividad*: se calcula como la relación entre las áreas por encima de la línea base de la representación fuerza-tiempo ($\text{Área 2} / \text{Área 1}$). Equivale al grado hasta el que se comprime una sustancia entre los dientes, antes de romperse.
- *Elasticidad* (mm): corresponde, en la curva fuerza-tiempo, 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 ($\text{Distancia 1} / \text{Distancia 2}$). 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.

5. Material y Métodos

- *Masticabilidad* (N×mm): se obtiene del 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 tragarla.

Para el análisis instrumental de textura, a partir de la parte de jamón cocido destinada a la realización de este análisis, se cortó una loncha de jamón cocido de 2 cm de grosor, de la cual se extrajeron con un sacabocados, diez sub-muestras de 2,5 cm de diámetro y 2 cm de altura. Cada muestra fue comprimida en un texturómetro Texture Analyser TA-XT2, dos veces hasta el 50% de su tamaño original usando una sonda circular de 2,5 cm de diámetro, a una velocidad de 1 mm/s (Figura 31).



Figura 31. Medida instrumental de la textura.

5.2.7. Análisis de las propiedades sensoriales con un panel de catadores

En los ensayos realizados en esta Tesis se llevaron a cabo dos pruebas diferentes de análisis sensorial (perfil descriptivo, prueba de aceptación), utilizando el panel de la Estación Tecnológica de la Carne, que está entrenado según las Normas UNE 87-024-1 (UNE, 1995) y UNE-EN ISO 8586-2 (UNE, 2009), para el análisis sensorial de carne y productos cárnicos.

En todos los casos, las pruebas se llevaron a cabo a media mañana, en una sala de cata diseñada en base a la Norma UNE 87-004 (UNE, 1979), en cabinas individuales, utilizando luz blanca. En cada cabina, los catadores disponían de agua

mineral y pan tostado sin sal, que se utilizaron para unificar las condiciones internas de la boca antes de la evaluación de cada muestra. Durante el desarrollo de las pruebas, la temperatura de la sala se mantuvo a 22°C.

5.2.7.1. Perfil descriptivo

El estudio de las características sensoriales de los jamones cocidos elaborados en los diferentes ensayos se llevó a cabo mediante la realización de un perfil sensorial, según la norma UNE 87027:1998 (UNE, 1998).

Antes del inicio de esta prueba sensorial se llevó a cabo un entrenamiento específico del panel para el análisis de jamón cocido. El entrenamiento se realizó en 6 sesiones, desarrolladas durante 2 semanas (3 sesiones por semana). El objeto de estas sesiones fue familiarizar al panel con la hoja de cata a utilizar para la descripción del jamón cocido (Figura 32), y consensuar entre los catadores aspectos cualitativos y cuantitativos del método sensorial (unificar terminologías, escalas, etc.) y del producto (identificación de olores, defectos, etc.). Para ello, se utilizaron muestras de jamón cocido, categoría extra, de diferentes marcas comerciales. Como resultado de estas sesiones se obtuvo una hoja explicativa sobre los criterios a seguir durante el análisis (Figura 33) y varias escalas fotográficas de los descriptores utilizados para evaluar el aspecto visual (Figura 34).

Una vez consensuado el panel, se procedió a realizar el análisis sensorial propiamente dicho, valorándose parámetros relativos al aspecto (homogeneidad del color, intensidad del olor y ligazón), al olor (intensidad y calidad del olor), a la textura (dureza, jugosidad, fibrosidad y masticabilidad), y al flavor (intensidad y calidad del flavor). Cada uno de estos atributos se evaluó utilizando una escala de 5 puntos, donde 1 era la mínima percepción de cada uno de los atributos a evaluar y 5 la máxima percepción. Los catadores evaluaron, también, la presencia de características anómalas en el aspecto, olor o apreciadas durante la degustación. Por último, los catadores valoraron de manera objetiva la aceptabilidad global, teniendo en cuenta las puntuaciones asignadas al resto de los parámetros. Para ello, se utilizó una escala de 5 puntos, donde 1 era inaceptable, 2 malo, 3 aceptable, 4 bueno y 5 excelente.



**INSTITUTO
TECNOLÓGICO
AGRARIO**
Junta de Castilla y León
Consejería de Agricultura y Ganadería

Az. Fomento Villalobos 3 T +34 923 580 400
37701 Baños de Saldanueva F +34 923 580 350
www.itag.es

Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León

HOJA DE CATA- PERFIL DESCRIPTIVO

Nombre: Fecha: Código muestra:

ASPECTO VISUAL

- Homogeneidad del color 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Intensidad del color 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Presencia de colores anómalos:
- Ligazón 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Otros defectos:

PERCEPCIÓN OLFATIVA

- Intensidad del olor 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Calidad del olor 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Otros olores detectados:
- Presencia de olores defectuosos:

DEGUSTACIÓN EN LA BOCA

TEXTURA

- Dureza 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Jugosidad 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Fibrosidad 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Masticabilidad 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5

FLAVOR

- Intensidad del flavor 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Calidad del flavor 1 ----- 2 ----- 3 ----- 4 -----5
- Otros sabores/sabores detectados:
- Presencia de sabores/sabores defectuosos:

ACEPTABILIDAD. Teniendo en cuenta los parámetros evaluados, puntué la muestra en una escala de 1 a 5, considerando que: 5= excelente, 4= bueno, 3= aceptable, 2= malo, 1= inaceptable.

Puntuación global:

Figura 32. Hoja de cata utilizada para realizar el perfil descriptivo del jamón cocido.



**INSTITUTO
TECNOLÓGICO
AGRARIO**
Junta de Castilla y León
Consejería de Agricultura y Ganadería

Av. Filiberto Villalobos 7 T +34 923 298 688
27779 (Palencia) F +34 923 363 333
Palencia www.itacy.es

Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León

HOJA EXPLICATIVA- PERFIL DESCRIPTIVO

ASPECTO VISUAL

Homogeneidad del color: se valora la presencia de zonas con distintas tonalidades de color. A mayor número de zonas con diferentes tonalidades menor puntuación. (Ver Escala A).

Intensidad del color: se valora la intensidad del color desde blanco-rosa (1 pto) a rosa-marrón (5 ptos). (Ver Escala B).

PERCEPCIÓN OLFATIVA

Intensidad del olor: valores altos en este parámetro corresponden a jamones con olor característico intenso y valores bajos corresponden a jamones con poco olor.

Calidad del olor: valores altos en este parámetro corresponden a olores agradables, típicos a jamón cocido, y valores bajos corresponden a jamones con otros olores.

DEGUSTACIÓN EN LA BOCA

TEXTURA

Dureza: se valora la fuerza inicial que tenemos que hacer al morder la muestra.

Jugosidad: se valora la cantidad de saliva que se libera de la boca cuando masticamos el jamón cocido. Cuanto más saliva se produce más jugoso es el jamón cocido.

Fibrosidad: se valora la percepción en la boca de partículas alargadas y de orientación paralela en el jamón cocido.

FLAVOR

Intensidad de flavor: valores altos en este parámetro corresponden a jamones con flavor intenso y valores bajos corresponden a jamones con poco flavor.

Calidad del flavor: valores altos para este parámetro corresponden a jamones con un flavor agradable y típico del jamón cocido y

Presencia de coloraciones anómalas: indicar la presencia de coloraciones pardas, verdes, negras, etc.

Ligazón: se evaluará la compactación del jamón. A mayor presencia de grietas menor puntuación. (Ver Escala C).

Otros defectos: se indicará la presencia oquedades, textura reseca, irisaciones etc.

Otros olores detectados: indicar la presencia de olores a aditivo, a especias, a vegetales, aroma, etc.

Presencia de olores defectuosos: indicar la presencia de olor rancio, ácido, putrefacto, etc.

Masticabilidad: se valora el número de mordiscos necesario para que la muestra esté lista para ser tragada. Si se necesitan pocos mordiscos se puntúa al comienzo de la escala y si se necesitan muchos mordiscos, al final de la escala.

valores bajos corresponden a jamones con otros sabores.

Otros sabores/sabores detectados: indicar la presencia de flavor/sabor salado, a aditivo, a especias, a vegetales, a aroma, etc.

Presencia de sabores defectuosos: indicar la presencia de sabor rancio, ácido, etc.

Figura 33. Hoja explicativa de los descriptores incluidos en el perfil descriptivo.



Figura 34. Escalas fotográficas utilizadas en la valoración de la homogeneidad del color (escala A), de la intensidad de color (escala B) y de la ligazón (escala C).

En cada sesión se valoraron 2 jamones, para no producir cansancio en el catador. Para la realización de cada prueba descriptiva individual, a cada catador se le entregó una loncha de jamón cocido de 1,5 mm de grosor, procedente de la parte del jamón cocido destinada a la realización del análisis sensorial.



Figura 35. Cabina preparada para el análisis sensorial descriptivo.

5.2.7.2. Prueba de aceptación

Para estudiar la evolución de las características sensoriales del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales en el tiempo (Ensayo 3.1), se realizaron pruebas de aceptación durante el almacenamiento del producto.

En estas pruebas la valoración sensorial de las características del jamón cocido se realizó en función de la semejanza con el producto de partida, de manera objetiva. Por ello, al inicio del estudio, a los catadores se les indicó que el producto a evaluar en el día 0 presentaría las mejores puntuaciones en todos los parámetros.

Para la realización de esta prueba se utilizó la hoja de cata que se muestra en la Figura 36. En cada tiempo de muestreo, se evaluó el color, el olor, el flavor, la dureza, la pastosidad, la jugosidad y la aceptabilidad global del jamón cocido, utilizando una escala de 1 a 5 puntos (1=inaceptable, 2=malo, 3=aceptable, 4=bueno y 5=excelente).

 <p>INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO Junta de Castilla y León Consejería de Agricultura y Ganadería</p>	<p>Av. Fuente Villalobos 7 37728 Gajardo Salamanca</p> <p>T +34 923 598 688 F +34 923 586 363 www.itacj.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 JAMÓN COCIDO					

¿Colores anómalos?

APRECIACIÓN OLFATIVA

	1	2	3	4	5
OLOR DEL JAMÓN COCIDO					

¿Olores anómalos?

APRECIACIÓN GUSTATIVA

	1	2	3	4	5
FLAVOR DEL JAMÓN COCIDO					

¿Sabores/flavores anómalos?

TEXTURA

	1	2	3	4	5
PASTOSIDAD DEL JAMÓN COCIDO					
JUGOSIDAD DEL JAMÓN COCIDO					

¿Textura anómala?

Aceptación global:

Figura 36. Hoja de cata utilizada para realizar la prueba de aceptación.

También se incluyeron apartados en los que los catadores informaron de la presencia de caracteres extraños o anómalos, especialmente cuando la puntuación era inferior a 3. Cuando la aceptabilidad global del producto presentaba una puntuación inferior a 3 se consideraba que el producto había finalizado el periodo de vida útil.

Cada día de muestreo se realizaron dos pruebas y para cada prueba sensorial individual, se entregó a cada catador, un plato con una loncha de jamón cocido de 1,5 mm de grosor, identificada con un código compuesto por 3 números aleatorios elegidos al azar.

5.2.8 Análisis microbiológicos

Para determinar la vida útil del jamón cocido loncheado y envasado a vacío (Ensayo 3.1) se realizaron recuentos de diferentes microorganismos.

Una vez abiertos los envases del jamón cocido loncheado, en condiciones estériles, con ayuda de un bisturí y unas pinzas esterilizadas se pesaron $10 \pm 0,1$ g de muestra y se introdujeron en una bolsa estéril con filtro. A continuación, se añadieron 90 ml de agua de peptona y se procedió a su homogenización, durante 2 minutos, en un homogenizador de palas PK 400 (Masticador IUL, S.A., Barcelona). Posteriormente, el contenido de la bolsa se filtró en un Erlenmeyer esterilizado, siendo la solución resultante, la dilución madre (1:10), que se utilizó para la preparación de diluciones decimales posteriores.

5.2.8.1. 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 el centro de 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. Una vez solidificado el medio de las placas, éstas se incubaron a 7°C durante 10 días.

5.2.8.2. 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 el centro de placas Petri estériles. A continuación, se añadieron 15 ml de agar Schaedler (Scharlau Chemie,

Barcelona, España), previamente atemperado a 45-50°C. Una vez solidificado el medio, se vertieron 4 ml más del medio estéril sobre cada placa. Posteriormente, las placas se incubaron a 37°C durante 48 horas.

5.2.8.3. *Enterobacterias*

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 placas Petrifilm para el recuento de bacterias de la familia Enterobacteriaceae (Violet Red Bile Glucosa Agar, Bioser, Barcelona, España). Las placas se incubaron a 37°C durante 24 horas.

5.2.8.4 *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 Chemic, Barcelona, España). El inóculo se extendió con un asa de Digralsky por toda la superficie de la placa y las placas se incubaron a 30°C durante 48 horas en condiciones de anaerobiosis, para el recuento de bacterias ácido lácticas.

5.2.8.5. *Mohos y levaduras*

A partir de las diluciones decimales y por duplicado, se depositó 1 ml de cada dilución, en el centro de placas Petrifilm para el Recuento de Mohos y Levaduras (OGYE agar suplementado con Oxitetraciclina, Bioser, Barcelona, España). Las placas se incubaron a 20-25°C durante 5 días.

5.2.9. Análisis estadístico

En cada uno de los ensayos de la presente Tesis Doctoral, a partir de los valores obtenidos en cada una de las determinaciones analíticas llevadas a cabo, se realizó un análisis de la varianza de un vía (ANOVA) con objeto de detectar diferencias atribuibles a los factores considerados variables en cada uno de los ensayos (Tabla 4). En aquellos casos en los que existían diferencias significativas, se utilizó el test de Tukey HSD (Honest Significant Difference) para la separación de las medias. Además, se analizaron las correlaciones entre

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

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

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. CAPITULO 1: REDUCCIÓN DE ADITIVOS

En el primer capítulo de la Tesis se abordó la reducción de los niveles de nitritos (Ensayo 1.1) y fosfatos (Ensayo 1.2) utilizados en la elaboración de jamón cocido, evaluándose el efecto de dichos aditivos en sus características. A su vez, se estudió el efecto de la reducción del tiempo de maduración, después de la etapa de masajado, en las características del jamón cocido (Ensayo 1.3).

6.1.1. Ensayo 1.1: Reducción de la concentración de nitritos

Para la realización de este estudio se elaboraron 3 lotes de jamón cocido con diferentes concentraciones de nitritos: 150 mg/kg pernil (Lote 150), 80 mg/kg pernil (Lote 80) y 40 mg/kg pernil (Lote 40), evaluándose el efecto de la reducción de nitritos en el rendimiento, el pH, la a_w , el AR, la composición proximal, el contenido en cloruro sódico, nitritos y fosfatos, el color (L^* , a^* , b^*) y la textura (TPA). Además, se realizó un perfil descriptivo del producto con un panel de catadores entrenado.

6.1.1.1. Efectos en el rendimiento, pH, a_w y AR

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del rendimiento, el pH, la a_w y el AR en cada uno de los lotes de jamón cocido elaborados en este ensayo. Puede observarse que la reducción de la concentración de nitritos, desde 150 a 40 mg/kg pernil, no implicó diferencias ($p > 0,05$) en ninguno de estos parámetros.

Tabla 17. Rendimiento, pH, a_w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitrito.

	Lote*		
	Lote 150	Lote 80	Lote 40
Rendimiento (%)	^A 113,7 \pm 1,2	^A 113,1 \pm 3,3	^A 110,8 \pm 2,7
pH	^A 6,1 \pm 0,1	^A 6,2 \pm 0,0	^A 6,2 \pm 0,1
a_w	^A 0,971 \pm 0,002	^A 0,972 \pm 0,002	^A 0,973 \pm 0,002
AR (%)	^A 90,7 \pm 0,1	^A 90,7 \pm 0,1	^A 90,1 \pm 0,2

* Concentración de nitritos (mg /kg pernil).

^A Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

6. Resultados y Discusión

En la elaboración de jamón cocido, el **rendimiento** depende de las características de la materia prima (pH_{24} , CRA) y del proceso de elaboración de dicho producto, en el que influyen tanto el uso de determinados aditivos como son los fosfatos, carragenatos, etc., como el porcentaje de inyección, la realización o no de una etapa de tenderización, las condiciones de masajeado, el tipo de cocción y las condiciones de enfriamiento. Dado que en la elaboración de los lotes incluidos en este estudio, solo se modificó la concentración de nitritos, es lógico que no se obtuvieran diferencias en este parámetro.

Teniendo en cuenta que la elaboración de los diferentes lotes de jamón cocido se realizó con un 20% de inyección y con una etapa de cocción con merma, los valores obtenidos en el rendimiento fueron altos. Cheng y col. (2005), Desmond y Kenny (2005) y Cheng y Sun (2007) obtuvieron un rendimiento del 85-99% cuando elaboraron jamón cocido con el mismo porcentaje de inyección que el aplicado en este estudio. Esto podría ser debido a que realizaron un masajeado a mayor velocidad (6-60 rpm) y durante menor tiempo que el empleado en este ensayo. Además, estos autores llevaron a cabo ciclos de cocción cortos, con temperaturas elevadas (82-85°C).

En relación al **pH**, Dong y col. (2007) y Eyiler y Oztan (2011) tampoco encontraron cambios en el pH cuando se disminuía el contenido de nitritos desde 150 a 50 mg/kg en la elaboración de salchichas cocidas.

En los productos cárnicos cocidos, el pH depende del pH de la materia prima y del proceso de elaboración, siendo la concentración de fosfatos y el proceso de cocción los principales responsables del pH del producto final. Los fosfatos incrementan el pH de la carne entre 0,1 y 0,6 unidades, dependiendo de la concentración utilizada (Palacios, 2003; Fernández-López y col., 2004). Por otro lado, durante la cocción, las proteínas cárnicas debido a su desnaturalización, sufren cambios conformacionales, lo que implica un incremento de pH (Ledward, 1979) debido a que los grupos carboxilos quedan libres y a que tiene lugar la liberación de iones Mg y Ca, procedentes de las proteínas (Medynski y col., 2000).

En la evaluación del pH llevada a cabo para controlar el proceso de elaboración de los jamones cocidos utilizados en este ensayo (datos no mostrados), se observó que el pH del pernil aumentaba ligeramente, en torno a 0,3 unidades, tras el proceso de inyección, debido probablemente a la presencia de fosfatos. No

obstante, la etapa de cocción fue la que determinó el pH final del jamón cocido ya que se observó que tras la realización de esta etapa, el pH en el producto final, aumentaba 0,5 unidades respecto al pH del producto masajado. Por último, indicar que los valores de pH obtenidos en el presente estudio son similares a los que han obtenido otros autores (Santos y col., 2004; Rubio y col., 2009) en jamón cocido.

En cuanto a la a_w , este parámetro corresponde a la fracción de agua del músculo cárnico que está unida por fuerzas superficiales y que está disponible para participar en reacciones químicas y enzimáticas, y para el crecimiento de los microorganismos. Fernández-Salguero y col. (1994) indicaron que en los productos cárnicos, este parámetro depende tanto de los ingredientes (cloruro sódico, azúcares, etc.) y de los aditivos utilizados (nitritos, nitratos, fosfatos, etc.) como del proceso de elaboración de los mismos. Cuanto mayor sea la concentración de ingredientes, especialmente de cloruro sódico, menor será la a_w (Comaposada y col., 2000). La acción del cloruro sódico en la a_w se basa en la reducción de la concentración de agua y en el cambio de presión de vapor que tiene lugar cuando se disuelve (Comaposada y Gou, 1998). Por otro lado, un incremento en la temperatura, durante el proceso de elaboración de los productos cárnicos, también provoca una disminución de la a_w (Comaposada y col., 2000). En este ensayo, la cantidad de cloruro sódico, dextrosa y fosfatos y las condiciones de cocción han sido similares en los tres lotes, por lo que solo cabría esperar modificaciones en la a_w debidas a las diferentes concentraciones de nitrito. En este sentido, es preciso indicar que la cantidad de nitrito utilizada es muy pequeña para ejercer algún efecto que pueda anular la acción de solutos como el cloruro sódico y la dextrosa, que se utilizan en concentraciones muy superiores, o el efecto de la temperatura de cocción en este parámetro. Indicar también, que los valores obtenidos en este estudio para la a_w se encuentran dentro del rango de valores que el jamón cocido presenta de manera habitual, en torno a 0,97-0,98 (Scannell y col., 2002; Santos y col., 2004; Rubio y col., 2009).

Dado que en el rendimiento, en el pH y en la a_w no se han detectado diferencias entre lotes, es lógico que en el **AR** tampoco se observaran diferencias por la disminución de la concentración de nitritos, siendo los valores obtenidos para este parámetro próximos al 90%. Por último, indicar que el AR de los jamones cocidos elaborados en este ensayo fue superior a la encontrada por otros autores (Desmond y col., 2000; Cheng y col., 2005) que obtuvieron un jamón cocido con una

capacidad de retener agua de 71-75%. En este sentido, se podría considerar que las condiciones de procesado llevadas a cabo en este estudio, permiten la obtención de jamón cocido, que presenta una mayor calidad.

6.1.1.2. Efecto en la composición proximal

Los resultados obtenidos en el porcentaje de humedad, grasa, proteína y ceniza se muestran en la Tabla 18. En esta tabla se puede observar que sólo se encontraron diferencias en el porcentaje de humedad y de ceniza. Dado que en la elaboración de estos lotes se utilizó una materia prima homogénea, las diferencias encontradas en la composición proximal sólo pueden ser atribuidas a los componentes de la salmuera y al porcentaje de inyección.

Respecto al porcentaje de **humedad**, el jamón cocido elaborado con 80 mg/kg de nitritos presentó el mayor porcentaje de humedad ($p < 0,05$). Las diferencias encontradas en el porcentaje de humedad fueron en torno a un 1%. Por ello, estas diferencias podrían ser atribuidas, más que a la diferencia en el contenido de nitritos utilizado, a ligeras diferencias en el porcentaje de inyección de la salmuera o en el proceso de cocción entre los diferentes lotes, ya que como se indicó en el apartado anterior, el rendimiento fue similar en los tres lotes.

Tabla 18. Composición proximal (Media \pm SD), expresada en materia fresca, del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos.

	Lote*		
	Lote 150	Lote 80	Lote 40
Humedad (%)	^A 73,9 \pm 0,5	^B 75,6 \pm 0,5	^A 74,4 \pm 0,2
Grasa (%)	^A 5,1 \pm 1,1	^A 4,4 \pm 0,9	^A 4,6 \pm 0,3
Proteína (%)	^A 16,5 \pm 0,9	^A 16,4 \pm 0,5	^A 17,5 \pm 0,1
Ceniza (%)	^C 4,1 \pm 0,2	^B 3,6 \pm 0,1	^A 3,2 \pm 0,2

* Concentración de nitritos (mg /kg pernil).

^{A, B} Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

En relación al contenido de **ceniza**, se observó que al disminuir la concentración de nitritos añadidos disminuía el valor de este parámetro ($p < 0,05$), lo que podría ser debido a diferencias en el contenido de sodio. El que los nitritos utilizados fueran añadidos en forma de nitrito sódico, podría explicar estos resultados ya que cuanto mayor es la cantidad de sodio utilizada en la elaboración de productos

cárnicos, mayor es el porcentaje de ceniza que presentan los mismos (Dimitrakopoulou y col., 2005).

Finalmente, indicar que los resultados obtenidos en la composición proximal de los diferentes jamones cocidos elaborados fueron similares a los obtenidos por otros autores, que han sido incluidos en la *Revisión Bibliográfica* (Tabla 3).

6.1.1.3. Efecto en el contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos

En la Tabla 19 se pueden observar los valores obtenidos en el contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos del jamón cocido elaborado con 150, 80 y 40 mg/kg de nitritos.

Tabla 19. Contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos.

	Lote*		
	Lote 150	Lote 80	Lote 40
Cloruro sódico (%)	^A 2,4 \pm 0,2	^A 2,5 \pm 0,1	^A 2,1 \pm 0,1
Nitritos (mg/kg)	<10	<10	<10
Fosfatos (mg/kg)	^{AB} 5.582 \pm 70	^A 5.399 \pm 119	^B 5.772 \pm 39

* Concentración de nitritos (mg /kg pernil).

^{A,B} Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

En relación al porcentaje de **cloruro sódico**, no se encontraron diferencias ($p > 0,05$) entre los lotes de jamón cocido elaborados con diferentes concentraciones de nitritos. Dado que en el rendimiento tampoco se encontraron diferencias, estos resultados podrían considerarse lógicos. Los valores obtenidos en el contenido de cloruro sódico están dentro del rango habitual de valores de este ingrediente en el jamón cocido (Tabla 3).

Respecto al contenido de **nitritos** residuales, aunque se utilizaron distintas concentraciones en la elaboración de los distintos lotes, no se detectaron diferencias entre ellos ($p > 0,05$), obteniéndose valores residuales inferiores a 10 mg/kg (límite de detección del método). Los nitritos son compuestos muy reactivos, que al pH de 5,5-6,5 que presentan los productos cárnicos, pueden transformarse rápidamente en otros compuestos, como es el óxido nítrico (Sebranek y Fox, 1985; Marco y col., 2006). Cassens (1997) indicó que cuando se añaden nitritos a la carne y a los productos cárnicos, del total de los nitritos

añadidos, el 1-10% de los nitritos se oxidan a nitratos, el 5-10% reacciona con la mioglobina, el 5-15% con grupos sulfhídricos, el 1-5% con la grasa, el 20-30% con proteínas y el 1-5% se transforma en gas, permaneciendo en el producto final del 20 al 10% de los nitritos añadidos (Cassens, 1995). En jamón cocido y en salchichas cocidas, diversos autores (Dong y col., 2007; Zhang y col., 2007; Rubio y col., 2009) observaron que cuando en la formulación se utilizaban concentraciones de nitritos que oscilaban entre 50 y 150 mg/kg, la cantidad de nitritos residuales en el producto final era inferior a 10 mg/kg. En otros productos cárnicos cocidos como la mortadela, se han encontrado cantidades residuales de nitritos ligeramente superiores (próximas a 20 mg/kg), cuando se emplearon concentraciones de nitritos del orden de 40-120 mg/kg (Al-Shuibi y Al-Abdullah, 2002). En este sentido, las diferencias en el pH de los productos cárnicos podrían dar lugar a diferentes niveles de nitritos residuales.

En relación al contenido de **fosfatos**, el jamón cocido elaborado con 80 mg/kg de nitritos presentó un menor valor ($p < 0,05$) que el elaborado con 40 mg/kg. Dado que en la elaboración de todos los lotes se utilizó la misma cantidad de fosfatos (2.000 mg/kg pernil) y materias primas procedentes de animales con la misma genética y alimentación, estas diferencias podrían ser atribuidas a pequeñas variaciones en el contenido de fosfatos de la materia prima. La carne de forma natural presenta en torno a 4.500 y 5.000 mg/kg de fosfatos (Flores, 2001).

Los resultados obtenidos en el contenido de fosfatos se encuentran dentro del rango habitual para este producto. Rubio y col. (2009) indicaron valores de fosfatos entre 5.018 y 9.742 mg/kg en jamón cocido de diferentes marcas comercializadas en España. En este sentido, indicar que la legislación vigente permite hasta 7.500 mg/kg de fosfatos en el producto elaborado, siendo 5.000 mg/kg la concentración máxima de fosfatos a añadir.

6.1.1.4. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*)

En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación instrumental del color en cada uno de los lotes de jamón cocido elaborado. En dicha tabla se puede observar que la disminución de la concentración de nitritos en la elaboración del jamón cocido sólo implicó la obtención de un mayor valor del índice de amarillo (b^*) ($p < 0,05$) en los jamones cocidos elaborados con 40 mg/kg

de nitritos, siendo la luminosidad (L^*) y el índice de rojo (a^*) similar en los jamones cocidos elaborados con 150, 80 y 40 mg/kg de nitritos.

Tabla 20. Color (L^* , a^* , b^*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos.

	Lote*		
	Lote 150	Lote 80	Lote 40
L^*	^A 61,4 \pm 0,3	^A 61,1 \pm 1,1	^A 59,8 \pm 5,9
a^*	^A 9,1 \pm 0,3	^A 8,5 \pm 0,6	^A 9,9 \pm 2,3
b^*	^A 6,8 \pm 0,1	^A 6,8 \pm 0,7	^B 8,0 \pm 0,2

* Concentración de nitritos (mg /kg pernil).

^{A,B} Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

El **índice de luminosidad (L^*)** indica básicamente si un color es oscuro o claro y depende en gran medida del índice a^* y del contenido acuoso que presenta el jamón cocido. El hecho de que las diferencias en el contenido acuoso fueron mínimas podría justificar el que no se detectaran diferencias en este parámetro al ser el índice de rojo similar en los tres lotes elaborados.

Respecto al **índice de rojo (a^*)**, teniendo en cuenta el papel fundamental que desempeñan los nitritos en la formación del color rosado, típico del jamón cocido, es llamativo que la disminución de este aditivo de 150 mg/kg a 40 mg/kg no diera lugar a la obtención de diferencia alguna en este parámetro. No obstante, teniendo en cuenta que la cantidad mínima de nitritos necesaria para el desarrollo de un color adecuado en los productos cárnicos se estima entre 25 y 50 mg/kg de nitritos (Ordóñez y col., 1998; Sebranek y Bacus, 2007b), los resultados obtenidos podrían considerarse lógicos.

Otros autores (Dineen y col., 2000), en la elaboración de jamón cocido a partir del m. *Semitendinosus*, observaron que la reducción del contenido de nitritos de 100 a 25 mg/kg implicaba una reducción del valor de a^* . Es preciso indicar que los valores obtenidos por estos autores para el índice a^* (10,8-11,9) fueron superiores a los obtenidos en nuestro estudio, incluso cuando se utilizaba la menor concentración de nitritos, debido probablemente a que se utilizó un solo músculo. En este sentido, Casiraghi y col. (2007) indicaron que en el jamón cocido, el m. *Semitendinosus* presentaba menores valores de L^* y mayores de a^* que los m. *Semimembranosus* y *Biceps femoris*. Esta variabilidad en el color entre los

diferentes músculos del pernil ha podido contribuir a diferencias en el color en productos cárnicos elaborados con distintas concentraciones de nitritos. En nuestro ensayo, los jamones cocidos fueron elaborados con todos los músculos del pernil.

También en otros productos cárnicos se han observado diferentes efectos en el color al disminuir la cantidad de nitritos. Eyiler y Oztan (2011), en la elaboración de salchichas cocidas, observaron que cuando se reducía el contenido de nitritos de 150 a 50 mg/kg, éstas presentaban además de un mayor valor de L*, un menor valor de a*. Por el contrario, en embutidos fermentados no se han encontrado diferencias en a* al disminuir la concentración de nitritos de 150 a 75 mg/kg (Tsoukalas y col., 2011) o de 100 a 25 mg/kg (Liu y col., 2010).

En relación al **índice de amarillo b***, el jamón cocido elaborado con 40 mg/kg presentó el mayor valor ($p < 0,05$). El b* se relaciona con procesos de oxidación, de modo que cuanto mayor sea la oxidación de un producto, mayor es el valor de este parámetro. Los nitritos presentan actividad antioxidante ya que determinados compuestos derivados del nitrito, como el óxido nítrico, tienen capacidad para secuestrar oxígeno (Honikel, 2008). En el caso de los productos cárnicos cocidos, las reacciones de oxidación se favorecen con el calor. En este sentido, la utilización de una menor concentración de nitritos podría explicar los resultados obtenidos. Morrissey y Techivangana (1985) evaluaron el efecto antioxidante de los nitritos en la oxidación de diferentes carnes durante su cocción. Estos autores observaron que cuando se utilizaba una concentración de nitritos de 50 mg/kg, la oxidación lipídica se reducía en un 50-64%, mientras que al utilizar 200 mg/kg la reducción era mayor, del orden del 87-91%.

Los valores obtenidos en la evaluación instrumental del color en los jamones cocidos evaluados en este ensayo están dentro de los valores encontrados para L* (56,1-68,0), a* (7,2-14,6) y b* (3,4-9,7) en la bibliografía consultada (Cheng y col., 2005; Casiraghi y col., 2007; Valková y col., 2007; Rubio y col., 2009).

6.1.1.5. Efecto en la textura (TPA)

Los resultados obtenidos en la evaluación instrumental de la textura (TPA) están incluidos en la Tabla 21.

La reducción del uso de nitritos de 150 a 80 mg/kg no implicó modificación alguna ($p > 0,05$) en la **dureza** y **masticabilidad**. Sin embargo, la utilización de la

menor concentración de nitritos (40 mg/kg pernil) supuso la obtención de valores menores en estos parámetros ($p < 0,05$). Por otro lado, no se observó ningún efecto de la utilización de diferentes concentraciones de nitritos ni en la **cohesividad** ni en la **elasticidad** ($p > 0,05$).

Tabla 21. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitrito.

	Lote*		
	Lote 150	Lote 80	Lote 40
Dureza (N)	^B 51,4 \pm 6,0	^B 53,6 \pm 5,5	^A 45,1 \pm 2,6
Cohesividad	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0
Elasticidad (mm)	^A 0,9 \pm 0,0	^A 0,9 \pm 0,0	^A 0,8 \pm 0,1
Masticabilidad (N\timesmm)	^B 24,8 \pm 1,4	^B 22,7 \pm 1,9	^A 6,6 \pm 1,0

* Concentración de nitritos (mg /kg pernil).

^{A,B} Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

La **dureza** en los productos cárnicos es un parámetro que depende de la concentración de ingredientes y aditivos utilizados y de aquellas etapas del proceso de elaboración que modifican su textura, como el tenderizado y masajado o afectan a sus componentes (humedad, proteína, grasa, cenizas, etc.) como la cocción. En este sentido, teniendo en cuenta que los ingredientes y aditivos utilizados, excepto la cantidad de nitritos, y el proceso de elaboración han sido similares en todos los lotes, se podría indicar que los nitritos han ejercido un efecto directo o indirecto en la textura del jamón cocido. Las reacciones que tienen lugar entre los nitritos y los diferentes componentes de la carne, como la grasa y las proteínas (Cassens 1997), podrían explicar las diferencias encontradas en la dureza. Por otro lado, se ha observado una correlación positiva entre el contenido de cenizas y la dureza en el jamón cocido (Válková y col., 2007). Como se ha indicado anteriormente, en este ensayo, la utilización de 40 mg/kg de nitritos implicó la obtención de un menor contenido en cenizas en el jamón cocido, lo que podría explicar la obtención de una menor dureza.

Respecto a la **cohesividad** y la **elasticidad**, Somboonpanyakul y col. (2007) observaron en una emulsión cárnica, que estos parámetros se modificaban por la utilización de diferentes concentraciones de cloruro sódico y de fosfatos. En nuestro ensayo, dado que todos los lotes han sido elaborados con la misma cantidad de cloruro sódico y fosfatos, no se encontraron diferencias en estos parámetros.

En relación a la **masticabilidad**, dado que este parámetro se obtiene del producto entre la dureza, la cohesividad y la elasticidad, y teniendo en cuenta que la cohesividad y la elasticidad no se modificaron al disminuir la concentración de nitritos, las diferencias encontradas en este parámetro fueron debidas al comportamiento de la dureza.

Finalmente indicar, que en jamón cocido, los valores obtenidos en la evaluación de la textura (TPA) son muy variables. Así, se ha observado que el jamón cocido presenta valores muy diferentes en la dureza (9,6-147 N), en la elasticidad (0,6-15 mm), cohesividad (0,6-1,6) y en la masticabilidad (15-386 N) (Desmond y col., 2000, 2002; Lachowicz y col., 2003; Desmond y Kenny, 2005; Frontela, 2006; Cheng y Sun, 2006, 2007; Válková y col., 2007). Esta variabilidad tan elevada es una consecuencia tanto de diferencias en la materia prima y en el proceso de elaboración, como en las condiciones y el tipo de sonda elegidos para la realización del análisis instrumental de textura mediante TPA.

6.1.1.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

En la Tabla 22 se incluyen los resultados obtenidos en la evaluación de las características sensoriales del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos, realizada con un panel de catadores entrenado. En la Figura 37 se muestra el aspecto visual del jamón cocido de los diferentes lotes.

En relación al aspecto visual, no se observó que la disminución de la concentración de nitritos en la elaboración de jamón cocido ejerciera ningún efecto ($p>0,05$) en la homogeneidad e intensidad de color ni en la ligazón de los músculos.

En la **homogeneidad del color**, aunque los catadores valoraron el jamón cocido elaborado con 40 mg/kg de nitritos con una puntuación más baja, no se detectaron diferencias entre lotes ($p>0,05$), debido probablemente a la alta desviación estándar obtenida en la evaluación de este parámetro en los jamones cocidos de cada lote. A pesar de que todos los músculos del jamón cocido se colocaron de manera similar en el molde para la realización de la etapa de cocción, y de que las lonchas que se asignaron a los catadores para su evaluación fueron las procedentes de una misma parte del jamón cocido, es probable que dentro de cada lote, no todos los catadores evaluarán los mismos músculos. Tal y como se ha indicado en el apartado 6.1.1.4,

Tabla 22. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de nitritos, evaluadas por un panel de catadores entrenado.

	Lote*		
	Lote 150	Lote 80	Lote 40
¹ <i>Aspecto visual</i>			
Homogeneidad de color	^A 3,3 \pm 1,1	^A 2,9 \pm 0,8	^A 2,2 \pm 0,5
Intensidad de color	^A 3,0 \pm 0,8	^A 3,0 \pm 0,2	^A 2,4 \pm 0,6
Ligazón	^A 3,9 \pm 0,5	^A 4,2 \pm 0,4	^A 3,6 \pm 0,5
¹ <i>Olor y flavor</i>			
Intensidad de olor	^A 3,8 \pm 0,5	^A 3,2 \pm 0,1	^A 3,0 \pm 0,2
Calidad de olor	^A 4,5 \pm 0,9	^A 4,8 \pm 0,2	^A 3,3 \pm 0,6
Intensidad de flavor	^A 3,8 \pm 0,7	^A 3,4 \pm 0,1	^A 3,5 \pm 0,0
Calidad de flavor	^A 4,5 \pm 0,9	^A 4,9 \pm 0,2	^A 4,5 \pm 0,5
¹ <i>Textura</i>			
Dureza	^A 2,4 \pm 0,4	^A 2,5 \pm 0,1	^A 2,1 \pm 0,2
Jugosidad	^A 2,8 \pm 0,6	^A 3,1 \pm 0,3	^A 2,8 \pm 0,2
Fibrosidad	^A 1,1 \pm 0,2	^B 1,7 \pm 0,1	^B 1,9 \pm 0,1
Masticabilidad	^B 2,7 \pm 0,2	^A 2,3 \pm 0,1	^A 2,2 \pm 0,1
² ACEPTABILIDAD GLOBAL	^B 4,0 \pm 0,0	^B 4,0 \pm 0,2	^A 2,7 \pm 0,1

* Concentración de nitritos (mg /kg pernil).

¹ Valoración en una escala de 5 puntos donde 1-mínima intensidad y 5-máxima intensidad.

² Valoración en una escala donde 5-excelente, 4-bueno, 3-aceptable, 2-malo y 1-inaceptable.

^{A,B} Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

los músculos presentan variabilidad natural en su color. Estas diferencias son atribuidas a diferencias en el contenido de mioglobina o diferencias en su metabolismo (Camisasca y col., 1998). Así, los músculos rojos presentan un mayor contenido de mioglobina que los músculos blancos (Lindahl y col., 2001). Por otro lado, determinados músculos como el músculo *Biceps femoris* se pueden clasificar como músculos blancos o rojos dependiendo de la zona que se considere (externa o interna) (Lindahl y col., 2001). Por último, indicar que el hecho de haber evaluado la homogeneidad del color en una loncha, en lugar de haberlo realizado en la pieza entera, podría haber dificultado la apreciación de distintas tonalidades en el color.

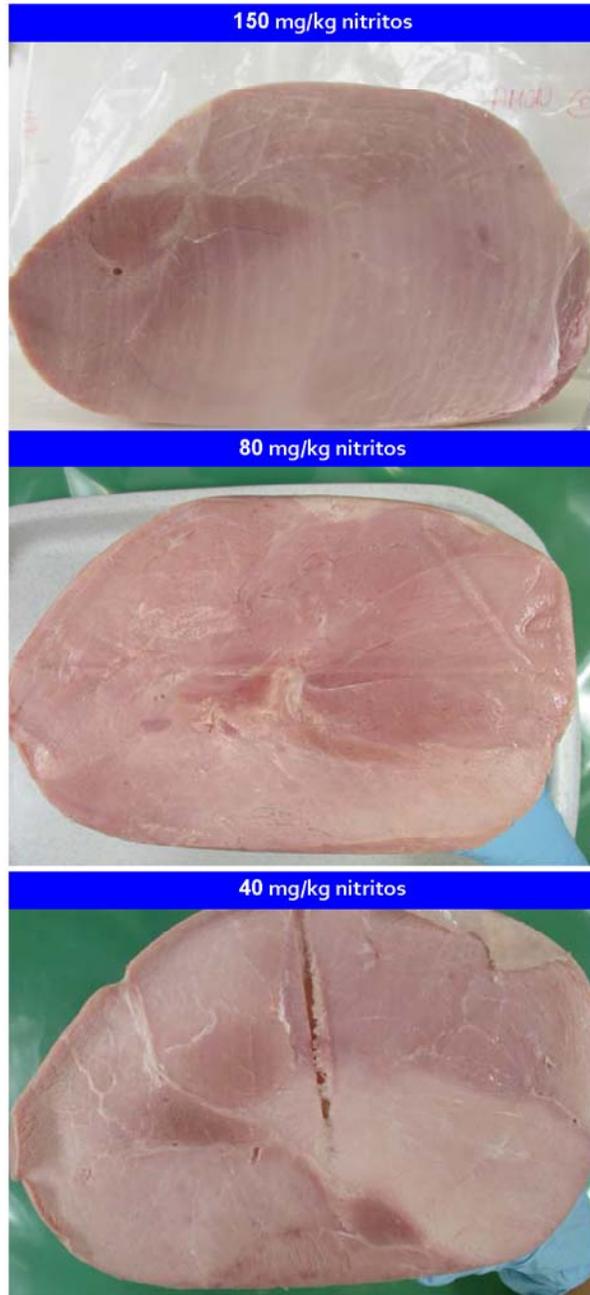


Figura 37. Aspecto visual del jamón cocido elaborado con 150, 80 y 40 mg/kg de nitritos.

De modo similar, en la **intensidad del color** aunque los catadores valoraron el jamón cocido elaborado con 40 mg/kg de nitritos con una puntuación más baja, no se detectaron diferencias entre lotes ($p>0,05$). Resultados similares a los de este estudio fueron obtenidos por Al-Shuibi y Al-Abdullah (2002), que aunque indicaron un color rojo más claro en la mortadela elaborada con 40 mg/kg de nitritos, en la evaluación de este parámetro con un panel de catadores tampoco encontraron diferencias al utilizar diferentes concentraciones de nitritos (120, 80 ó 40 mg/kg). Indicar también, que aunque se ha observado que el color característico de los productos cárnicos es menos intenso cuando se utilizan 40-50 mg/kg de nitritos, que cuando se utilizan 150-200 mg/kg, en general, se considera que 25-50 mg/kg de nitritos son suficientes para el desarrollo de un color adecuado y estable (National Academy of Sciences, 1982; Sebranek y Bacus, 2007b).

Por otro lado, los resultados obtenidos con el panel de catadores en la evaluación de la intensidad del color concuerdan con los obtenidos en la evaluación instrumental de L^* y de a^* (Tabla 20). La luminosidad- L^* es el principal parámetro que se tiene en cuenta para determinar la calidad de los productos cárnicos (García-Esteban y col., 2003) y es el mejor indicador para determinar la intensidad del color rosa (Brewer y col., 2001), y por otro lado, el índice rojo- a^* es el parámetro más sensible que determina el color rojo y su estabilidad (García-Esteban y col., 2003).

En relación a la **ligazón**, dado que todos los jamones fueron elaborados utilizando la misma concentración de fosfatos y en las mismas condiciones, es lógico que la ligazón entre los diferentes músculos que componen el jamón fuera similar.

En la **percepción del olor y del flavor** no se encontraron diferencias ($p>0,05$) entre los lotes de jamón cocido elaborados con diferentes niveles de nitritos lo que indicó que la disminución de la concentración de nitritos hasta 40 mg/kg pernil no suponía una disminución ni en la intensidad ni en la calidad de estos parámetros. Al-Shuibi y Al-Abdullah (2002) tampoco encontraron diferencias en el flavor en mortadela elaborada con 120, 80 ó 40 mg/kg de nitritos.

En los productos cárnicos, tanto el olor como el flavor dependen de la composición del tejido adiposo, que a su vez está determinada por la genética y por la alimentación de los cerdos. Estos parámetros están también influenciados por el

tipo de ingredientes y aditivos y por el periodo de maduración utilizados en su elaboración. El flavor característico “a curado” es un atributo importante de calidad, asociado al empleo de nitrito en la elaboración de productos cárnicos, que se atribuye más a la inhibición que ejerce el nitrito sobre la oxidación lipídica que a la formación de compuestos aromáticos específicos (Gray y col., 1981). Se ha observado que bajas concentraciones de nitritos resultan significativamente positivas en el desarrollo del flavor “a curado”. De hecho, tanto en jamón cocido como en otros productos cárnicos curados se ha indicado que de 10 a 50 mg/kg de nitritos son suficientes para que se detecte este flavor (Djujic y col., 1980; MacDonald y col., 1980a,b,c; Touraille y Goutefongea, 1985; Pegg y Shahidi, 2000; Martín, 2002). Por otro lado, Touraille y Goutefongea (1985) indicaron que es a partir de 50 mg/kg de nitritos cuando se incrementa la intensidad del flavor típico.

Como se ha indicado anteriormente, los jamones cocidos elaborados con una concentración de nitritos de 40 mg/kg pernil presentaron un índice de amarillo ligeramente superior ($p < 0,05$) (Tabla 20), debido probablemente a una mayor oxidación durante la cocción. En este sentido, cabría esperar que la calidad del olor y del flavor de estos jamones cocidos fuera menor. Como puede observarse en la Tabla 22, en la calidad del olor, la puntuación que los catadores le atribuyeron a estos jamones fue más baja, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas, debido probablemente a que el nivel de oxidación fue mínimo y al diferente umbral de percepción de los compuestos resultantes de la oxidación lipídica por los catadores.

En relación a los resultados obtenidos en la evaluación de la textura durante la degustación del jamón no se encontraron diferencias ni en la **dureza** ni en la **jugosidad** ($p > 0,05$) entre los jamones cocidos elaborados con diferentes concentraciones de nitritos. La disminución de 150 mg/kg a 80 ó 40 mg/kg de nitritos implicó la obtención de un jamón cocido con una mayor **fibrosidad** ($p < 0,05$) y una menor **masticabilidad** ($p < 0,05$). En principio podría sorprender que no se encontraran diferencias en la dureza, ya que en la evaluación instrumental de este parámetro se observó que la disminución de la concentración de nitritos a 40 mg/kg pernil implicaba la obtención de un jamón cocido con una menor dureza. Las diferencias en el grosor de la loncha de jamón cocido utilizada para la realización de estos análisis (2 cm en la evaluación instrumental y 0,15 cm en

evaluación con catadores) posiblemente determinaron comportamientos diferentes para un mismo parámetro en la evaluación instrumental y la realizada con catadores.

Finalmente, en relación a la **aceptabilidad global** la puntuación dada por los catadores fue menor ($p < 0,05$) en el jamón cocido elaborado con 40 mg/kg de nitritos, que presentó valores inferiores a 3 (equivalente a aceptable), en comparación con el jamón cocido elaborado con 80 ó 150 mg/kg de nitritos que fue evaluado como bueno (puntuación 4).

6.1.1.7. Resumen

En la elaboración de jamón cocido la reducción de la concentración de nitritos de 150 a 80 ó 40 mg/kg no implicó cambios en el rendimiento, el pH, la a_w y el AR. En la composición proximal, sólo se encontraron pequeñas diferencias en la humedad y en las cenizas que se atribuyeron a ligeras variaciones en el porcentaje de inyección y al contenido en sodio. En cuanto a los ingredientes y aditivos, en el producto elaborado no se detectaron diferencias ni en el cloruro sódico ni en los nitritos residuales. Destacar que, en todos los lotes, los niveles de nitritos fueron inferiores a 10 mg/kg. En los fosfatos residuales, variaciones en la cantidad de fósforo presente de manera natural en la carne, pudieron ser la causa de las diferencias detectadas en este aditivo.

Respecto al color y la textura evaluados de forma instrumental, la reducción de la concentración de nitritos a 40 mg/kg implicó la obtención de un jamón cocido con un mayor índice de amarillo y una menor dureza y masticabilidad. Estas diferencias fueron atribuidas a la capacidad antioxidante que presentan los nitritos, al menor contenido de cenizas que presentaron estos jamones y a las posibles reacciones que tienen lugar entre los nitritos y los diferentes componentes de la carne.

En la evaluación sensorial, realizada por un panel de catadores entrenados, aunque en los parámetros relacionados con el aspecto visual y el olor se obtuvieron puntuaciones menores en el jamón cocido elaborado con 40 mg/kg de nitritos, solo se detectaron diferencias entre lotes en determinados parámetros de textura y en la aceptabilidad global. La reducción de la concentración de nitritos de 150 ó de 80 a

6. Resultados y Discusión

40 mg/kg implicó que la aceptabilidad global del jamón cocido pasara de ser buena a no aceptable (puntuación inferior a 3).

En base a los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que en la elaboración de jamón cocido es posible reducir la adición de nitritos a 80 mg/kg sin modificar las características propias de este producto. La reducción hasta 40 mg/kg, aunque no implica modificaciones importantes en la mayoría de los parámetros evaluados, supone una disminución de la aceptabilidad del jamón cocido, que podría implicar un rechazo por parte de los consumidores.

6.1.2. Ensayo 1.2: Reducción de la concentración de fosfatos

Para la realización de este estudio se elaboró jamón cocido con diferentes concentraciones de fosfatos: 2.000 mg/kg pernil (Lote 2.000), 1.000 mg/kg pernil (Lote 1.000) y 0 mg/kg pernil (Lote 0). En cada lote, en el producto final, se evaluó el rendimiento, el pH, la a_w , el AR, la composición proximal y el contenido en cloruro sódico, nitritos y fosfatos. Además, se evaluó instrumentalmente el color (L^* , a^* , b^*) y la textura (TPA) y se realizó un perfil descriptivo del producto con un panel de catadores entrenados.

6.1.2.1. Efectos en el rendimiento, pH, a_w y AR

En la Tabla 23 se incluyen los resultados obtenidos en el rendimiento, el pH, la a_w y el AR de los diferentes lotes de jamón cocido elaborados en este estudio.

Tabla 23. Rendimiento, pH, a_w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.

	Lote*		
	Lote 2.000	Lote 1.000	Lote 0
Rendimiento (%)	^B 113,1 \pm 3,3	^B 110,3 \pm 3,3	^A 102,5 \pm 0,7
pH	^B 6,2 \pm 0,0	^B 6,2 \pm 0,1	^A 5,9 \pm 0,1
a_w	^A 0,972 \pm 0,002	^B 0,977 \pm 0,001	^C 0,981 \pm 0,001
AR (%)	^B 90,7 \pm 0,1	^A 89,8 \pm 0,4	^A 89,7 \pm 0,4

* Concentración de fosfatos (mg/kg pernil).

^{A, B} Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

En relación al **rendimiento**, puede observarse que la eliminación total de los fosfatos, en la elaboración de jamón cocido, implicó una disminución del rendimiento del proceso, en un 10% aproximadamente ($p < 0,05$). Sin embargo, su reducción de 2.000 a 1.000 mg/kg no supuso efecto alguno en este parámetro ($p > 0,05$).

Diversos estudios han puesto de manifiesto que la inclusión de fosfatos en la formulación de preparados de carne, productos cárnicos cocidos o precocinados, permite disminuir las pérdidas por cocción durante el proceso de elaboración de los mismos y, por tanto, aumentar el rendimiento. Así, McGee y col. (2003) y Cheng y Ockerman (2003), en diferentes precocinados de vacuno, observaron una

disminución de las pérdidas por cocción cuando inyectaban tripolifosfato de sodio (2.500 y 4.000 mg/kg, respectivamente).

En relación al efecto de la utilización de diferentes concentraciones de fosfatos, Keenan y col. (2010) al aumentar el contenido de fosfatos de 1.500 a 3.000 mg/kg en productos cárnicos cocidos (elaborados a partir de músculos enteros de vacuno) no observaron efecto ni en las pérdidas por cocción ni en el rendimiento. De modo similar, en los estudios realizados por Sammel y Claus (2006) en pechuga de pavo cocida, no se obtuvo un mayor rendimiento cuando se aumentó la concentración de tripolifosfatos de 2.500 a 5.000 mg/kg. Por el contrario, Cheng y Ockerman (2003), en un precocinado de ternera, observaron un aumento de un 2% en el rendimiento cuando la concentración de fosfatos inyectada en la carne se aumentaba de 2.500 a 4.000 mg/kg. Sin embargo, estos autores no observaron diferencias en el rendimiento cuando aumentaron la concentración de fosfatos de 4.000 a 5.000 mg/kg.

Como se ha indicado en el capítulo de *Revisión Bibliográfica*, el efecto de los fosfatos depende de la cantidad y tipo de fosfatos, del porcentaje de cloruro sódico empleado así como del proceso de elaboración del producto cárnico en el que se vayan a usar. Baublits y col. (2005, 2006a) evaluaron el efecto de la utilización de diferentes tipos de fosfato (tripolifosfato de sodio, hexametafosfato de sodio, pirofosfato tetrasodio) en la elaboración de un preparado de carne a partir del músculo *Biceps femoris* de vacuno, indicando que la inyección de la salmuera que contenía hexametafosfato de sodio era la que implicaba mayores pérdidas por cocinado. Por otro lado, Pietrasik y Janz (2009), en la elaboración de un producto cárnico cocido de vacuno observaron que la inyección de 3.000 mg/kg de tripolifosfato de sodio permitía disminuir las pérdidas por cocción cuando se incluía un 5% de cloruro sódico, no detectándose este efecto cuando el porcentaje de cloruro sódico se disminuía a 0,5%.

En relación al proceso, variaciones en el porcentaje de inyección, la realización o no de masajeado y/o la utilización de diferentes condiciones de cocción y/o enfriamiento podrían ser la causa de las diferencias encontradas en el efecto de los fosfatos en el rendimiento. Los fosfatos se utilizan básicamente por su capacidad de aumentar la retención de agua de la carne, sin embargo, es preciso indicar que el hecho de aumentar el porcentaje de inyección de una salmuera que contiene

fosfatos, no siempre implica la obtención de una mayor CRA, ya que la matriz formada en la carne tiene una capacidad limitada de retener el agua (Pietrasik y Janz, 2009). Por otro lado, cuando se utilizan fosfatos junto con cloruro sódico y se aplica una etapa de masajeado se obtiene un mayor rendimiento (Cheng y Ockerman, 2003). Esto es debido tanto a que tiene lugar una mayor extracción de proteínas miofibrilares, que favorece la admisión de salmuera, como a que durante la cocción, estos aditivos son más efectivos en la retención de la salmuera (Ranken, 2003).

En nuestro estudio dado que la concentración de cloruro sódico, el porcentaje de inyección y las condiciones de proceso fueron similares en los tres lotes de jamón cocido, el hecho de no encontrar diferencias en el rendimiento al disminuir la concentración de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg, debe ser interpretado como que la utilización de 1.000 mg/kg de fosfatos fue suficiente para retener la salmuera inyectada.

Respecto al pH, la inclusión de fosfatos en la formulación del jamón cocido implicó un ligero aumento ($p < 0,05$) de este parámetro. De acuerdo con Palacios, (2003) y Fernández-López y col. (2004), los fosfatos incrementan el pH de la carne entre 0,1 y 0,6 unidades. Este efecto es debido a que los fosfatos en solución se ionizan y forman electrolitos, lo que aumenta la fuerza iónica del medio (Palacios, 2003). Dependiendo del tipo y de la concentración de fosfatos utilizada, el efecto en el pH 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 de la utilización (1.500 ó 3.000 mg/kg) o no de fosfatos en el pH. En relación al empleo de diferentes concentraciones de fosfatos, al igual que en este ensayo, Baublits y col. (2005) no encontraron diferencias en el pH al utilizar 2.000 ó 4.000 mg/kg en la elaboración de un preparado de carne a partir del músculo *Biceps femoris* de vacuno.

En cuanto a la a_w , la reducción del uso de fosfatos de 2.000 a 0 mg/kg implicó un aumento de este parámetro ($p < 0,05$). Lin y Lin (2002) también obtuvieron mayores valores de a_w , en embutidos fermentados elaborados sin fosfatos en comparación con aquellos que incluían 2.000 mg/kg de trifosfatos. La a_w de un

alimento puede disminuir por diferentes tipos de interacciones, como las del agua con los solutos disueltos, por lo que a mayor cantidad de solutos disueltos, mayor número de interacciones y menor a_w (Martínez-Navarrete y col., 1998).

Respecto a el **AR**, tanto la disminución de la concentración de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg como su eliminación implicó una reducción de este parámetro ($p < 0,05$). Baublits y col. (2005), en un preparado de carne a partir del músculo *Biceps femoris* de vacuno, también obtuvieron un menor porcentaje de agua retenida al reducir la cantidad de fosfatos de 4.000 a 2.000 mg/kg. Al igual que en nuestro ensayo, estos autores no encontraron diferencias en el pH, por lo que indicaron que la mayor capacidad de retener agua de las muestras elaboradas con una mayor concentración de fosfatos podría deberse a cambios en la fuerza iónica o a un aumento de los fosfatos unidos a las proteínas. A mayor cantidad de fosfatos aumentan las interacciones fosfato-proteína y, en consecuencia, la carga neta de las proteínas y la repulsión entre ellas, lo que implica una mayor retención de agua. En relación a la no utilización de fosfatos, autores como Puolanne y col. (2001) también observaron un aumento en la capacidad de retención de agua, en salchichas cocidas elaboradas con 2.500 mg/kg, debido al aumento que tuvo lugar en el pH de dichos productos cárnicos, atribuido al uso de fosfatos. Finalmente, el no encontrar diferencias en el agua retenida por el jamón cocido elaborado con 1.000 mg/kg de fosfatos y el elaborado sin fosfatos, podría indicar que las modificaciones en la fuerza iónica debidas a la inclusión de esta cantidad de fosfatos no provocaron suficientes cambios en la estructura proteica para obtener diferencias significativas en el agua retenida.

6.1.2.2. Efecto en la composición proximal

Los resultados obtenidos en el análisis del porcentaje de humedad, grasa, proteína y ceniza de los diferentes lotes de jamón cocido se incluyen en la Tabla 24. Puede observarse que la disminución de la concentración de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg en la elaboración de jamón cocido, no supuso diferencias en estos parámetros ($p > 0,05$). Sin embargo, la eliminación total de este aditivo implicó la obtención de jamón cocido con un menor contenido acuoso y de cenizas ($p < 0,05$) y un mayor porcentaje de proteínas ($p < 0,05$).

Tabla 24. Composición proximal (Media \pm SD) expresada en materia fresca, del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.

	Lotes*		
	Lote 2.000	Lote 1.000	Lote 0
Humedad (%)	^B 75,6 \pm 0,5	^B 75,5 \pm 1,1	^A 72,8 \pm 1,0
Grasa (%)	^A 4,4 \pm 0,9	^A 4,2 \pm 1,0	^A 4,4 \pm 1,3
Proteína (%)	^A 16,4 \pm 0,5	^A 16,6 \pm 0,6	^B 19,7 \pm 0,8
Ceniza (%)	^B 3,6 \pm 0,1	^B 3,5 \pm 0,2	^A 2,8 \pm 0,1

* Concentración de fosfatos (mg/kg pernil).

^{A,B} Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

Los resultados obtenidos en el porcentaje de **humedad** están en concordancia con los obtenidos en el rendimiento. Los fosfatos incrementan la absorción y la retención de la salmuera después del proceso de inyección, lo que justifica los resultados obtenidos en el porcentaje de humedad.

De manera similar, otros autores como Cheng y Ockerman (2003), Hayes y col. (2006) y Pietrasik y Janz (2009) observaron un aumento del 3-4% en el porcentaje de humedad en diferentes productos cárnicos al incluir fosfatos (3.000-5.000 mg/kg) en su formulación. Sin embargo, Cheng y Ockerman (2003) no observaron diferencias en la humedad entre el producto elaborado con 2.500 mg/kg de fosfatos y el elaborado sin fosfatos. Como se ha indicado en el apartado anterior, el efecto de los fosfatos en la retención de agua y, por tanto, en el contenido acuoso del producto, depende de la concentración y el tipo de fosfatos utilizados, del propio producto cárnico y del método de procesado.

Respecto al contenido en **grasa**, no se observó ningún efecto ($p > 0,05$) de la reducción de la concentración de fosfatos en la elaboración de jamón cocido. Sin embargo, la eliminación del uso de fosfatos implicó diferencias en el porcentaje de **proteínas** ($p < 0,05$). Estas diferencias podrían ser atribuidas a las diferencias encontradas en el porcentaje de humedad, ya que cuanto menor es la humedad, mayor es la concentración de otros constituyentes de la carne. De forma similar, Hayes y col. (2006) observaron en la elaboración de un preparado de carne de lomo de cerdo, que al eliminar los fosfatos el contenido de grasa permanecía y el de proteínas aumentaba en un 3%.

6. Resultados y Discusión

Por último, la inclusión de 1.000 ó 2.000 mg/kg de fosfatos en la formulación del jamón cocido implicó también un aumento en el porcentaje de **ceniza** ($p < 0,05$). Dado que el menor rendimiento observado en el jamón cocido elaborado sin fosfatos es indicativo de una menor retención de salmuera, es lógico pensar que en el producto final la concentración de aditivos que contribuyen al porcentaje de cenizas es menor. En este ensayo los aditivos utilizados en mayor proporción en la elaboración de los diferentes lotes de jamón cocido fueron el cloruro sódico y los fosfatos. En este sentido, Dimitrakopoulou y col. (2005), indicaron en paleta cocida, que a mayor contenido de cloruro sódico se obtenía un mayor porcentaje de cenizas, debido al aumento del sodio. En relación a los fosfatos, Fernández-Martín y col. (2002) observaron un aumento en el contenido de cenizas, de aproximadamente 1,5%, en emulsiones cárnicas preparadas con carne de cerdo cuando añadían fosfatos de sodio. El hecho de no haber encontrado diferencias ($p > 0,05$) en el porcentaje de cenizas del jamón elaborado con 2.000 ó 1.000 mg/kg de fosfatos pone de manifiesto que el sodio procedente del cloruro sódico fue el componente que más afectó al porcentaje de cenizas, como se confirmará a continuación.

6.1.2.3. Efecto en el contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos

En la Tabla 25 se incluyen los valores obtenidos en el análisis del contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos en cada uno de los lotes de jamón cocido elaborado.

Tabla 25. Contenido de cloruro sódico, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.

	Lote*		
	Lote 2.000	Lote 1.000	Lote 0
Cloruro sódico (%)	^B 2,5 \pm 0,1	^B 2,4 \pm 0,1	^A 2,0 \pm 0,2
Nitritos (mg/kg)	<10	<10	<10
Fosfatos (mg/kg)	^C 5.399 \pm 119	^B 4.570 \pm 127	^A 3.983 \pm 146

* Concentración de fosfatos (mg/kg pernil).

^{A, B, C} Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

La reducción del uso de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg no implicó la obtención de jamones cocidos con diferente contenido de **cloruro sódico**. Sin embargo, la eliminación total de estos aditivos si supuso una reducción del

contenido de cloruro sódico ($p < 0,05$). Este resultado es una consecuencia del menor rendimiento observado en la elaboración de jamón cocido sin fosfatos (Tabla 23) por la menor cantidad de salmuera retenida, y explica las diferencias obtenidas en el porcentaje de cenizas. Una menor cantidad de salmuera retenida implica un menor contenido de ingredientes y aditivos. De hecho, se encontró una correlación positiva entre el rendimiento y el contenido de cloruro sódico ($r = 0,72$, $p < 0,05$).

Respecto al contenido de **nitritos**, todos los lotes presentaron valores residuales por debajo de 10 mg/kg. Como se ha indicado en el Ensayo 1.1., los nitritos son compuestos muy reactivos que al pH que presentan los productos cárnicos se transforman rápidamente en otros compuestos. Por último, como era de esperar, a medida que disminuyó la concentración de **fosfatos** en la elaboración de jamón cocido, se observó un descenso ($p < 0,05$) de estos compuestos en el producto final.

6.1.2.4. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*)

Los valores obtenidos en la evaluación instrumental del color (L^* , a^* y b^*) de los diferentes lotes de jamón cocido elaborados en este ensayo se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Color (L^* , a^* , b^*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.

	Lote*		
	Lote 2.000	Lote 1.000	Lote 0
L^*	^A 61,1 \pm 1,1	^A 60,9 \pm 1,3	^A 63,7 \pm 2,0
a^*	^A 8,5 \pm 0,6	^A 8,7 \pm 0,8	^A 8,3 \pm 0,9
b^*	^A 6,8 \pm 0,7	^A 7,6 \pm 0,7	^A 8,6 \pm 0,8

* Concentración de fosfatos (mg/kg pernil).

^A Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

La reducción de la concentración de fosfatos en la elaboración de jamón cocido no implicó la obtención de jamones cocidos con diferente color, en lo que respecta a los índices L^* , a^* y b^* . Sin embargo, las diferencias encontradas entre lotes en el rendimiento y en la humedad del jamón cocido (Tablas 23 y 24), podrían haber dado lugar a diferencias en estos parámetros.

Diversos autores han indicado que la **luminosidad** de la carne, preparados de carne y de los productos cárnicos depende de factores tales como la capacidad de retención de agua (Fernández-López y col., 2000), el contenido en grasa (Fisher y col., 2000), el agua libre (Judge y col., 1989), etc. Littinandana y col. (2005) indicaron que un aumento en el agua de los productos cárnicos daba lugar a un producto más luminoso. Sin embargo, en la elaboración de preparados de carne con salmueras con diferentes cantidades de fosfatos (de 1.500 a 3.000 mg/kg) y cloruro sódico (0,4-3%) se ha observado una disminución de L^* (Prestat y col., 2002; Fernández-López y col., 2004a; Pietrasik y Janz, 2009). Esto es debido a que el incremento en la CRA derivado de la utilización de fosfatos y cloruro sódico 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). En nuestro ensayo, los valores de L^* obtenidos en los lotes elaborados con fosfatos fueron menores, aunque esta diferencia no fue significativa a pesar de las diferencias detectadas en el contenido de fosfatos y cloruro sódico. En estudios realizados tanto en productos cárnicos cocidos como crudo-curados (Fernández-López y col., 1994; Pérez-Álvarez y col., 1997) se ha observado que la disminución de la luminosidad se produce cuando se utilizan porcentajes de cloruro sódico (entorno al 3%) superiores a los utilizados en este ensayo.

En relación al **índice de rojo** es preciso indicar que el efecto de los fosfatos es diferente en función de si se añaden nitritos o no. En el caso de los preparados de carne, en los que no se utilizan nitritos, diversos autores (Baublits y col., 2006c; Hayes y col., 2006; Pietrasik y Janz, 2009) han observado una disminución de este índice cuando utilizaban cloruro sódico y fosfatos. Estos cambios en el color podrían ser atribuidos al aumento de la CRA, debido al aumento en la fuerza iónica del medio que se produce cuando se añaden estos aditivos. Este aumento de la CRA podría implicar una disminución de la penetración del oxígeno lo que provoca una mayor proporción de desoximioglobina y, por tanto, una disminución de a^* (Baublits y col., 2006c). En el caso de los productos cárnicos en los que se emplean nitritos, el efecto descrito anteriormente no es evidente, debido a que en estos productos la adición de nitritos da lugar a la formación de pigmentos estables (nitrosilmioglobina en los productos curados y nitrosilhemocromo en los productos cocidos), que son los responsables del color característico. En este sentido, Lin y Lin (2002) no encontraron diferencias en a^* cuando elaboraron salchichas cocidas

con y sin fosfatos. Al igual que en nuestro estudio, estos autores tampoco encontraron diferencias en el **índice de amarillo**. Sin embargo, Fernández-López y col. (2004a) apuntaron un aumento de los valores de b^* , en productos cárnicos cocidos elaborados con fosfatos, que atribuyeron al proceso de cocción y a la oxidación. También Keenan y col. (2010) observaron un aumento de b^* al aumentar el contenido en fosfatos de 1.500 a 3.000 mg/kg en un producto cárnico cocido de ternera. Sin embargo, no se ha descrito ningún efecto de los fosfatos sobre b^* en preparados de carne y en productos cárnicos curados (Fernández-López y col., 2004a).

6.1.2.5. Efecto en la textura (TPA)

En la Tabla 27 se incluyen los resultados obtenidos en la evaluación instrumental de la dureza, la cohesividad, la elasticidad y la masticabilidad.

Tabla 27. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos.

	Lote*		
	Lote 2.000	Lote 1.000	Lote 0
Dureza (N)	^A 53,6 \pm 5,5	^A 51,4 \pm 3,4	^B 72,8 \pm 7,2
Cohesividad	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0
Elasticidad (mm)	^B 0,9 \pm 0,0	^{AB} 0,8 \pm 0,1	^A 0,7 \pm 0,0
Masticabilidad (N\timesmm)	^A 22,7 \pm 1,9	^A 20,7 \pm 2,4	^A 26,6 \pm 2,6

* Concentración de fosfatos (mg/kg pernil).

^{A, B} Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

Se puede observar que la reducción de la concentración de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg en la elaboración del jamón cocido no implicó diferencias en ninguno de los parámetros evaluados ($p > 0,05$). Keenan y col. (2010) al reducir la concentración de fosfatos de 3.000 a 1.500 mg/kg en un producto cárnico cocido elaborado a partir del m. *Infraspinatus* de ternera, tampoco observaron cambios en ninguno de los parámetros de textura evaluados instrumentalmente (TPA). Dado que el efecto de los fosfatos, entre otros factores, depende del porcentaje de cloruro sódico utilizado, el no encontrar diferencias en la textura al disminuir la concentración de fosfatos podría ser debido a que el porcentaje de cloruro sódico fue similar en ambos lotes (Tabla 25).

Sin embargo, la no inclusión de fosfatos en la formulación del jamón cocido supuso la obtención de un producto con una mayor **dureza** ($p < 0,05$) y una menor **elasticidad** ($p < 0,05$). Diversos autores han indicado que la utilización de fosfatos junto con cloruro sódico contribuye a disminuir la fuerza de corte que presentan los preparados de carne y los productos cárnicos (McGee y col., 2003; Baublits y col., 2006c; Hayes y col., 2006; Pietrasik y Janz, 2009). Baublits y col. (2006c) indicaron que la disminución de la fuerza de corte, a medida que aumentaban los niveles de cloruro sódico y fosfatos, podría ser debida al aumento de la solubilización de las proteínas provocado por el cloruro sódico, y a la acción de los fosfatos sobre la disociación de la actomiosina, lo que implicaría un aumento de la retención de agua y, en consecuencia, la formación de un matriz agua-proteína que requiere menos fuerza de corte. De hecho, en nuestro estudio los lotes elaborados con fosfatos, presentaron un mayor porcentaje de humedad (Tabla 24). En este sentido, se ha indicado que la mayor humedad de los productos que incluyen fosfatos juega un papel fundamental en la mejora de su textura (Vann y Dewitt, 2007; Pietrasik y Janz, 2009).

En relación a la elasticidad, los resultados obtenidos en este ensayo coinciden con los obtenidos por Keenan y col. (2010), que observaron que la reducción de los niveles de fosfatos en un producto cárnico cocido elaborado a partir del m. *Pectoralis profundus* de ternera, daba lugar a una disminución de este parámetro.

6.1.2.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial realizado con un panel de catadores entrenado del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos se muestran en la Tabla 28. En la Figura 38 se muestra el aspecto visual de dichos jamones.

En el aspecto visual no se detectaron diferencias entre lotes ($p > 0,05$) ni en la **homogeneidad** ni en la **intensidad de color**. Por el contrario, la eliminación de fosfatos implicó la obtención de un jamón cocido con una menor **ligazón** ($p < 0,05$), aunque no se encontraron diferencias ($p > 0,05$) en este parámetro al reducir los niveles de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg.

Los resultados obtenidos en el color son acordes con los obtenidos en la evaluación del índice de rojo (Tabla 26), en el que no se observaron diferencias

entre lotes. Respecto a la ligazón, los resultados son lógicos ya que es bien conocido el efecto positivo que los fosfatos ejercen en la unión de los músculos de los productos cárnicos. Además de una menor ligazón en el jamón cocido elaborado sin fosfatos, los catadores indicaron que las lonchas se rompían con facilidad y presentaban un aspecto reseco.

Tabla 28. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos, evaluadas por un panel de catadores entrenado.

	Lote*		
	Lote 2.000	Lote 1.000	Lote 0
¹ <i>Aspecto visual</i>			
Homogeneidad de color	^A 2,9 \pm 0,8	^A 3,6 \pm 0,1	^A 2,9 \pm 0,7
Intensidad de color	^A 3,0 \pm 0,2	^A 3,1 \pm 0,2	^A 2,9 \pm 0,2
Ligazón	^B 4,2 \pm 0,4	^B 3,1 \pm 0,8	^A 1,9 \pm 0,2
¹ <i>Olor y flavor</i>			
Intensidad de olor	^A 3,2 \pm 0,1	^A 3,4 \pm 0,1	^A 3,5 \pm 0,3
Calidad de olor	^B 4,8 \pm 0,2	^B 4,4 \pm 0,0	^A 2,3 \pm 0,3
Intensidad de flavor	^{AB} 3,4 \pm 0,1	^B 3,8 \pm 0,3	^A 3,0 \pm 0,1
Calidad de flavor	^B 4,9 \pm 0,2	^B 5,0 \pm 0,0	^A 2,8 \pm 0,6
¹ <i>Textura</i>			
Dureza	^A 2,5 \pm 0,1	^A 2,0 \pm 0,4	^A 2,3 \pm 0,5
Jugosidad	^B 3,1 \pm 0,3	^B 3,3 \pm 0,1	^A 1,8 \pm 0,3
Fibrosidad	^A 1,7 \pm 0,1	^A 1,7 \pm 0,2	^B 2,7 \pm 0,1
Masticabilidad	^A 2,3 \pm 0,1	^A 1,9 \pm 0,3	^A 2,0 \pm 0,1
² ACEPTABILIDAD GLOBAL	^B 4,0 \pm 0,2	^B 4,2 \pm 0,1	^A 2,2 \pm 0,3

* Concentración de fosfatos (mg/kg pernil).

¹ Valoración en una escala de 5 puntos donde 1-mínima intensidad y 5-máxima intensidad.

² Valoración en una escala donde 5-excelente, 4-bueno, 3-aceptable, 2-malo y 1-inaceptable.

^{A,B} Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

Respecto al **olor**, ni la reducción de la cantidad de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg ni su eliminación provocó cambios en la **intensidad del olor** ($p > 0,05$). Sin embargo, la **calidad del olor** disminuyó ($p < 0,05$) al eliminar los fosfatos de la formulación del jamón cocido. En el **flavor** se detectaron diferencias ($p < 0,05$) entre el jamón cocido elaborado con y sin fosfatos tanto en la **intensidad** como la **calidad**, siendo los jamones cocidos elaborados sin fosfatos los que obtuvieron menores puntuaciones ($p < 0,05$).

Las temperaturas utilizadas en la cocción del jamón favorecen los procesos de oxidación que pueden dar lugar a la formación de compuestos que impliquen olores y sabores desagradables. La presencia de aditivos con acción antioxidante, como los fosfatos y los nitritos, puede evitar el desarrollo de estas reacciones. Una mayor oxidación durante la cocción pudo ser el motivo por el que los jamones cocidos elaborados sin fosfatos presentaron una menor calidad del olor y del sabor. En estos jamones además, el contenido de nitritos tras la inyección pudo ser menor, ya que debieron retener menos salmuera como lo indica el hecho de que presentaron el menor rendimiento (Tabla 23). Así, se encontró una correlación positiva entre el rendimiento y la calidad del olor ($r=0,75$, $p<0,05$).

Diversos autores (Capita y col., 2000; Prestat y col., 2002; Hayes y col., 2006; Baublits y col., 2006b) observaron en diferentes preparados de carne que la eliminación del uso de fosfatos implicaba que el producto cocinado presentara una menor calidad del olor y sabor. En productos cárnicos, Keenan y col. (2010) observaron que la reducción del contenido en fosfatos, desde 3.000 hasta 1.500 mg/kg, en un producto cárnico cocido elaborado a partir de ternera, permitía obtener un producto con una mayor calidad del sabor, lo que atribuyeron a que los fosfatos presentan un sabor amargo, ya que cuando se utilizan en concentraciones comprendidas entre 3.000 y 5.000 mg/kg pueden causar sabores desagradables (Ranken, 2000). En nuestro estudio, al reducir la cantidad de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg no se detectaron diferencias en el sabor, probablemente debido a que estos niveles de fosfatos son inferiores a 3.000 mg/kg.

En relación a los resultados obtenidos en la evaluación de la textura, ni la reducción de la concentración de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg, ni su eliminación, implicó diferencias en la **dureza** y la **masticabilidad** del jamón cocido ($p>0,05$). Estos resultados están en desacuerdo con los resultados obtenidos en la medida instrumental de la textura, donde se observaron diferencias en la dureza. La utilización de muestras con diferente grosor para la realización del análisis instrumental de textura y el sensorial con catadores, pudo ser el motivo de estas diferencias.

Por el contrario, la eliminación de los fosfatos en la elaboración de jamón cocido implicó la obtención de un jamón cocido con una menor **jugosidad** ($p<0,05$) y una mayor **fibrosidad** ($p<0,05$). Teniendo en cuenta que los jamones,

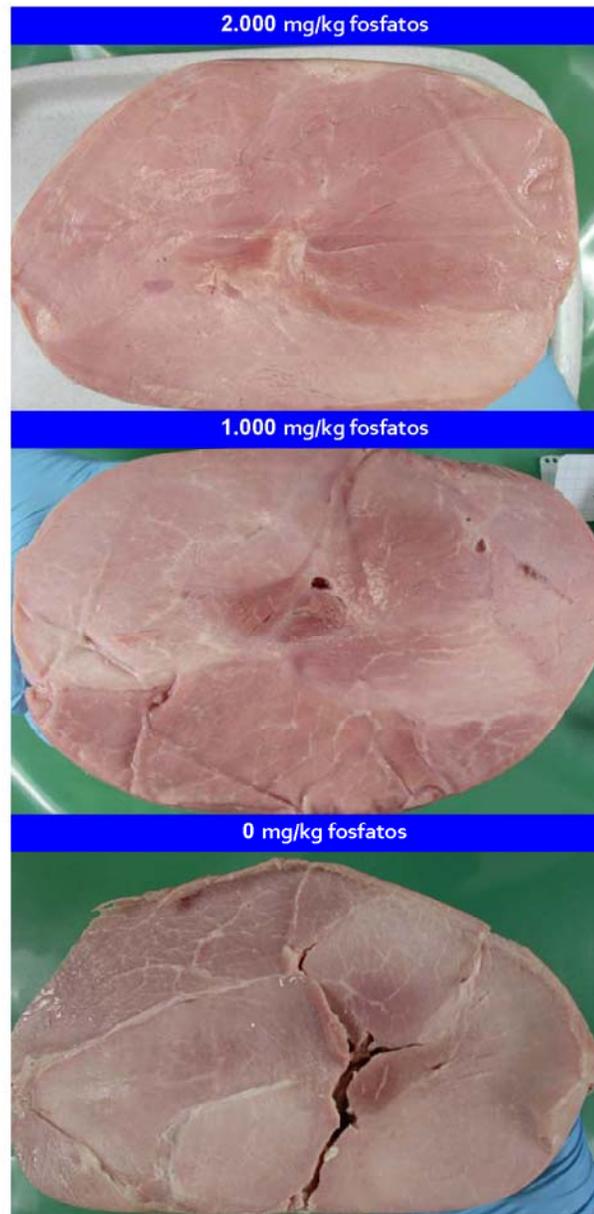


Figura 38. Aspecto visual del jamón cocido elaborado con 2.000, 1.000 y 0 mg/kg de fosfatos.

cocidos elaborados sin fosfatos presentaron el menor porcentaje de humedad y de cloruro sódico es lógico que dichos productos presentaran una menor jugosidad, ya que este parámetro es indicativo de la cantidad de jugos liberados durante la masticación, que puede estar influenciada por la concentración de cloruro sódico debido a que éste estimula la secreción salivar. Este hecho se confirmó en el análisis de correlaciones, en el que se observaron correlaciones positivas entre la jugosidad y el porcentaje de humedad ($r=0,75$, $p<0,05$) y el de cloruro sódico ($r=0,81$, $p<0,05$). En cuanto a las diferencias detectadas en la fibrosidad, éstas debieron ser una consecuencia de la menor ligazón del producto elaborado sin fosfatos, dado que se encontró una correlación negativa entre ambos parámetros ($r=-0,62$, $p<0,05$).

Por último, en la elaboración de jamón cocido, la eliminación de los fosfatos implicó una menor **aceptabilidad global** ($p<0,05$). El hecho de que el jamón cocido elaborado sin este aditivo presentara la menor ligazón, calidad de olor, flavor, jugosidad y la mayor fibrosidad fue determinante para que los catadores lo evaluaran como “malo”, de acuerdo con la escala de valoración utilizada. Se observó además, una correlación positiva entre la aceptabilidad global y la ligazón ($r=0,75$, $p<0,05$), la jugosidad ($r=0,83$, $p<0,05$), la calidad del olor ($r=0,67$, $p<0,05$) y del flavor ($r=0,73$, $p<0,05$) y una correlación negativa entre la aceptabilidad global y la fibrosidad ($r=-0,54$, $p<0,05$).

Finalmente, indicar que la reducción de la concentración de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg no supuso la obtención de diferencias ($p>0,05$) en la aceptabilidad global del jamón cocido, como era de esperar, dado que no se encontraron diferencias en ninguno de los parámetros sensoriales evaluados. Keenan y col. (2010) tampoco encontraron efecto al reducir la concentración de fosfatos de 3.000 a 1.500 mg/kg, en la aceptabilidad de un producto cárnico cocido elaborado a partir de ternera, a pesar de que detectaron diferencias en la evaluación del flavor. Indicar que en dicho estudio, los catadores evaluaron como “aceptable” el flavor tanto en el producto elaborado con 3.000 como con 1.500 mg/kg de fosfatos.

6.1.2.7. Resumen

En la elaboración de jamón cocido la reducción del uso de fosfatos de 2.000 a 1.000 mg/kg, excepto en el contenido en fosfatos, en la a_w y en el AR no implicó diferencias en ninguno de los parámetros evaluados.

Por el contrario, la eliminación de este aditivo supuso la obtención de un jamón cocido con un menor rendimiento y pH y una mayor a_w . Además, también implicó un menor contenido en humedad, en cenizas, en cloruro sódico y un mayor contenido en proteínas, debido probablemente al menor rendimiento que presentó el jamón cocido elaborado sin fosfatos. Sin embargo, la eliminación del uso de fosfatos no afectó a los parámetros de color evaluados de forma instrumental (L^* , a^* , b^*). En relación a la textura (TPA) la no inclusión de fosfatos supuso la obtención de un producto con una mayor dureza y una menor elasticidad, debido probablemente al menor contenido de humedad de estos jamones. Finalmente, en la evaluación sensorial con catadores, implicó la obtención de jamón cocido con menor ligazón, una menor calidad de olor y flavor, una menor jugosidad y una mayor fibrosidad, lo que determinó una menor aceptabilidad global.

En base a los resultados obtenidos y, teniendo en cuenta que el jamón cocido elaborado sin fosfatos fue calificado como malo, para obtener un producto de calidad, con las características propias del jamón cocido, la eliminación total del uso de fosfatos no es viable.

6.1.3. Ensayo 1.3: Reducción del periodo de maduración

Para la realización de este estudio se elaboró jamón cocido con una concentración reducida de nitritos (80 mg/kg pernil) y de fosfatos (1.000 mg/kg pernil) con diferentes periodos de maduración: 24 horas (Lote 24), 48 horas (Lote 48) y 72 horas (Lote 72). A lo largo del proceso de elaboración del jamón cocido, en el músculo *Biceps femoris*, se determinó el pH, el color (L*, a* y b*) y se estudió la microestructura. Una vez obtenido el jamón cocido, se calculó el rendimiento del proceso y se analizó el AR y la textura (TPA) del producto. Por último, se realizó un perfil descriptivo del producto con un panel de catadores entrenado.

6.1.3.1. Evolución del pH

En la Tabla 29 se muestran los resultados obtenidos en la evolución del pH, en el músculo *Biceps femoris*, durante el proceso de elaboración de los distintos lotes de jamón cocido.

Tabla 29. Evolución del pH (Media \pm SD) en el músculo *Biceps femoris* durante el proceso de elaboración del jamón cocido con diferentes tiempos de maduración.

	Materia prima	Pernil inyectado	Pernil m-m**	Jamón cocido
Lote 72*	$^{A}5,7 \pm 0,1_a$	$^{A}6,1 \pm 0,2_{ab}$	$^{A}6,1 \pm 0,2_{ab}$	$^{A}6,3 \pm 0,2_b$
Lote 48*	$^{A}5,7 \pm 0,4_a$	$^{A}6,1 \pm 0,2_a$	$^{A}5,7 \pm 0,1_a$	$^{A}6,4 \pm 0,2_a$
Lote 24*	$^{A}5,8 \pm 0,2_a$	$^{A}5,9 \pm 0,1_{ab}$	$^{A}5,6 \pm 0,1_a$	$^{A}6,2 \pm 0,1_b$

* Tiempo de maduración (horas).

**Pernil masajeador y madurado.

^{a, b} Medias con subíndices en la misma fila indican diferencias en la elaboración ($p < 0,05$).

^A Medias con superíndices distintos en la misma columna indican diferencias entre lotes ($p < 0,05$).

A lo largo del **proceso de elaboración**, los lotes de jamón cocido elaborados con un periodo de maduración de 72 ó 24 horas después del proceso de cocción presentaron un **pH** mayor ($p < 0,05$) que los pernils sin procesar (materia prima). Durante la cocción, las proteínas cárnicas debido a su desnaturalización sufren cambios conformacionales, lo que implica un incremento del pH (Ledward, 1979), debido a que los grupos carboxilos quedan libres y a que tiene lugar la liberación de iones Mg y Ca procedentes de las proteínas (Medynski y col., 2000). Sin embargo, en el jamón cocido elaborado con un periodo de maduración de 48 horas no se encontraron diferencias en el pH ($p > 0,05$) después del proceso de cocción. La no

obtención de diferencias estadísticas fue debida, probablemente, a la desviación estándar encontrada en los valores del pH en la materia prima, ya que como se indicará a continuación no se observaron diferencias entre lotes. Krause y col. (2011) indicaron que en la elaboración de jamón cocido, la carne triturada utilizada como materia prima presentaba un pH de 5,9-6,1, no detectando diferencias en este parámetro tras la adición de la salmuera. En el producto acabado, estos autores observaron un pH de 6,1.

Entre lotes no se observó ningún efecto de la reducción del **tiempo de maduración** en el pH ($p > 0,05$). Durante la maduración, debido a reacciones enzimáticas, como la proteólisis y la lipólisis, se producen numerosos cambios bioquímicos que pueden provocar una ligera elevación de pH (Forrest, 1979). Las enzimas proteolíticas son las responsables de cambios en la permeabilidad de la membrana celular o en su estructura proteica, que implican una redistribución de los iones debido a la sustitución de iones divalentes por monovalentes en las cadenas proteicas (Forrest, 1979). En este sentido, cabría esperar diferencias en el pH entre los jamones cocidos elaborados con distintos periodos de maduración. No obstante, es preciso tener en cuenta que para que se detecten diferencias debidas a la acción de las enzimas que participan en las reacciones de proteólisis y lipólisis son necesarios tiempos más largos de maduración, similares a los utilizados en la elaboración de productos curados. En el caso de los productos cocidos, el tiempo de acción de estas enzimas es muy corto debido a que se inactivan durante la cocción (Toldrá y col., 1992).

6.1.3.2. Evolución del color (L^* , a^* y b^*)

En la Tabla 30 se muestran los resultados obtenidos en la evolución de la luminosidad (L^*), del índice de rojo (a^*) y del índice de amarillo (b^*) a lo largo del proceso de elaboración de los distintos lotes experimentales de jamón cocido incluidos en este estudio.

En general, a lo largo del **proceso de elaboración** no se detectaron diferencias en L^* , a^* y b^* ni tras la inyección, ni tras la etapa de masajeado-maduración ($p > 0,05$); solamente se detectaron diferencias en L^* y a^* ($p < 0,05$) después de la realización de la cocción.

6. Resultados y Discusión

Tabla 30. Evolución del color (L*, a* y b*) (Media \pm SD) en el músculo *Biceps femoris* durante el proceso de elaboración del jamón cocido con diferentes tiempos de maduración.

		Materia prima	Pernil inyectado	Pernil m-m**	Jamón cocido
L*	Lote 72*	$^{A}53,4 \pm 0,6_{ab}$	$^{A}52,0 \pm 3,5_{ab}$	$^{A}47,5 \pm 1,0_a$	$^{A}59,2 \pm 4,2_b$
	Lote 48*	$^{A}49,5 \pm 4,5_a$	$^{A}46,6 \pm 6,0_a$	$^{A}48,8 \pm 1,0_a$	$^{A}55,6 \pm 1,9_a$
	Lote 24*	$^{A}51,8 \pm 1,9_{ab}$	$^{A}49,8 \pm 2,3_a$	$^{A}51,4 \pm 3,4_a$	$^{A}62,2 \pm 4,4_b$
a*	Lote 72*	$^{A}1,8 \pm 0,2_{ab}$	$^{A}1,0 \pm 0,9_a$	$^{A}4,6 \pm 2,0_b$	$^{A}10,1 \pm 0,6_c$
	Lote 48*	$^{A}2,4 \pm 1,6_a$	$^{A}1,9 \pm 2,2_a$	$^{A}3,2 \pm 0,2_a$	$^{A}10,4 \pm 1,9_b$
	Lote 24*	$^{A}3,0 \pm 0,5_a$	$^{A}2,1 \pm 0,4_a$	$^{A}2,3 \pm 0,3_a$	$^{A}9,1 \pm 1,3_b$
b*	Lote 72*	$^{A}11,5 \pm 2,5_a$	$^{A}8,2 \pm 1,2_a$	$^{A}10,7 \pm 0,7_a$	$^{A}8,8 \pm 0,8_a$
	Lote 48*	$^{A}10,7 \pm 0,5_b$	$^{A}7,9 \pm 0,2_a$	$^{A}10,8 \pm 1,1_b$	$^{A}10,2 \pm 0,8_{ab}$
	Lote 24*	$^{A}11,4 \pm 0,6_a$	$^{A}9,8 \pm 0,5_a$	$^{A}9,7 \pm 2,0_a$	$^{A}10,2 \pm 0,6_a$

* Tiempo de maduración (horas).

**Pernil masajeado y madurado.

_{a,b} Medias con diferentes subíndices en la misma fila indican diferencias durante el proceso de elaboración ($p < 0,05$).

^A Medias con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias entre lotes ($p < 0,05$).

En principio, la realización de la inyección debería de haber ocasionado un aumento en el índice L* ya que este proceso implica un aumento del contenido acuoso del pernil. Indicar que, aunque no se detectaron diferencias en la evaluación instrumental de este parámetro, tras la inyección, los pernils presentaban un aspecto más brillante. El hecho de que la medida instrumental del color se realizara en la superficie del músculo *Biceps femoris*, en la cual se observó un alto contenido en grasa intramuscular, pudo enmascarar diferencias en este parámetro.

Por otro lado, después de la etapa de masajeado-maduración se podría esperar un mayor índice de a* ya que los nitritos reaccionan con la mioglobina presente en el pernil formando nitrosilmioglobina. La presencia de grasa intramuscular del músculo *Biceps femoris* junto con la dilución del color rojo de la nitrosilmioglobina por el agua retenida, podrían ser la explicación de la no existencia de diferencias en el índice de rojo tras la inyección-masajeado.

Finalmente, durante la cocción tiene lugar la desnaturalización proteica y la nitrosomioglobina se transforma en el pigmento nitrosilhemocromo, responsable del color rosa de los productos cárnicos cocidos. En este sentido, la formación de este nuevo pigmento podría explicar los resultados obtenidos en el valor L* y a*.

En relación al **tiempo de maduración**, en este estudio no se detectaron diferencias en L^* y a^* ($p > 0,05$) al disminuir la maduración de 72 a 24 horas. En principio, un tiempo de maduración mayor debería tener un efecto positivo en el desarrollo del color, ya que implicaría mayor tiempo de reacción entre los compuestos derivados de los nitritos con la mioglobina para formar nitrosilmioglobina (Xargayó y Lagares, 2008). En este sentido, indicar que la formación de nitrosilmioglobina depende tanto de la cantidad de nitritos como de la cantidad y del estado de la mioglobina. Autores como Benjamin y Collins (2003) señalaron que, en salchichas elaboradas con diferentes niveles de nitrito, la intensidad de color fue dependiente del contenido en mioglobina de la carne. En nuestro caso, los resultados obtenidos indicarían que para la cantidad de nitritos utilizada y de mioglobina presente en el pernil, 24 horas fueron suficientes para que tuviera lugar el desarrollo del color. En cuanto al índice de amarillo, parámetro relacionado con el desarrollo de procesos de oxidación, tampoco se encontraron diferencias entre lotes ($p > 0,05$). Durante el masajeado se promueve la oxidación lipídica ya que tiene lugar la rotura de las membranas celulares, por lo que los fosfolípidos de estas membranas son más susceptibles a la oxidación durante la maduración (Cheng y Ockerman, 2003). El hecho de no haber encontrado diferencias en b^* entre tiempos de maduración, a pesar de las condiciones de masajeado utilizadas, debe ser atribuido a que al incluir la misma cantidad de prooxidantes, como la sal, y de antioxidantes en los distintos lotes de jamón cocido, el nivel de oxidación en los diferentes tiempos de maduración debió ser similar.

6.1.3.3. Cambios en la microestructura

En la Figura 39 se muestran diversas secciones longitudinales del músculo *Biceps femoris* del pernil sin procesar (materia prima) y del pernil después del proceso de inyección, a diferentes aumentos ($\times 10.000$ y $\times 20.000$).

En el análisis de la microestructura de la **materia prima** se pudo apreciar que en el interior de las fibras, los miofilamentos de las miofibrillas estaban íntegros y perfectamente unidos por conexiones proteicas denominadas costámeros. También pudo observarse la distribución de los miofilamentos y los elementos estructurales que constituyen el sarcómero (bandas A e I, línea M y discos Z y zona H). Una estructura similar fue descrita por otros autores (Katsaras y Budras, 1993; Tyszkiewicz y Jakubiec-Puka, 1994; Larrea y col., 2007) en pernils de cerdo.

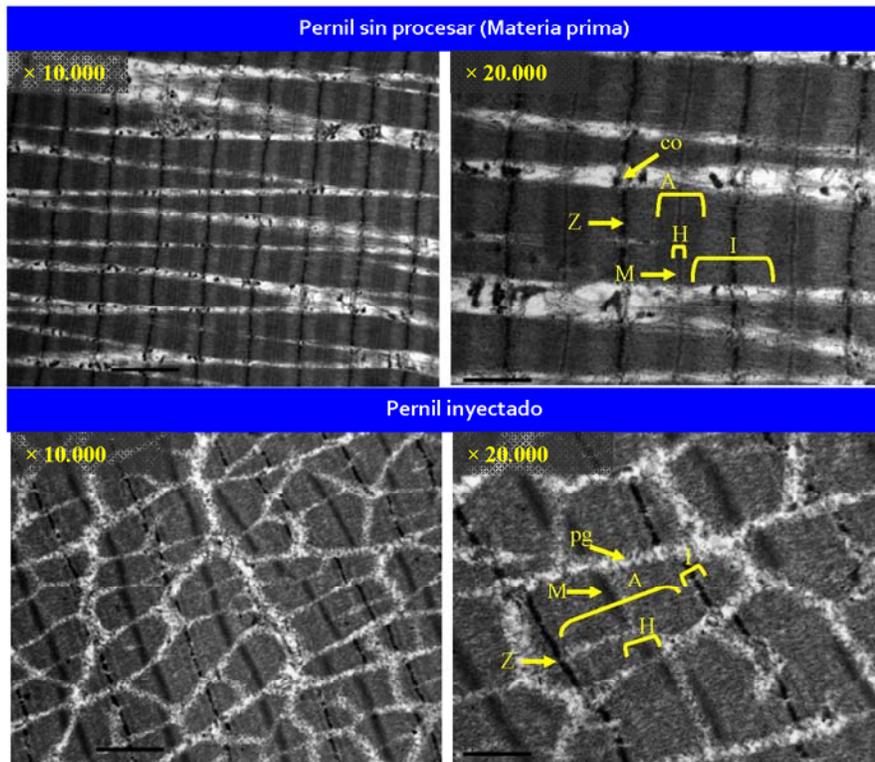


Figura 39. Secciones longitudinales del músculo *Biceps femoris* de los pernils sin procesar (materia prima) y de los pernils inyectados, observadas por MET ($\times 10.000$ y $\times 20.000$) (Z: discos Z; M: línea M; A, I: bandas A e I; H: zona H; co: costámeros; pg: proteínas granulares).

Después del proceso de **inyección**, se pudo observar que las miofibrillas estaban rotas e hinchadas en la región de la banda A, cerca de la zona H y la línea M (Figura 39). En comparación con la microestructura de la materia prima, se observó un aumento de los espacios intermiofibrilares y dejaron de percibirse claramente, observándose en su lugar proteínas granulares.

Durante la inyección se ejerce presión en toda la pieza cárnica y como consecuencia, el sarcolema se separa de las células musculares y sus miofibrillas (Katsaras y Budras, 1993). Mediante la desintegración de las fibras musculares se facilita la penetración de la salmuera tras el proceso de inyección, lo que provoca que las miofibrillas aumenten de tamaño y se hinchen (Flint, 1997; Hullberg y Lundström, 2004).

La absorción de la salmuera en el tejido muscular tiene lugar, fundamentalmente por los filamentos de actina y miosina y por las zonas de los discos Z y la línea M, provocando un aumento de las cargas electrostáticas de las proteínas, y favoreciendo la desestabilización y la disminución de la cohesión entre los discos Z y la línea M (Katsaras, 1992). El cloruro sódico y los fosfatos presentes en la salmuera son los responsables de esta desestabilización, ya que interaccionan con los filamentos de actina y miosina. El ión cloruro penetra en la estructura cuaternaria de las proteínas, rompe las uniones electrostáticas y neutraliza las cargas positivas. Esto hace que la proporción de cargas positivas disminuya con respecto a las cargas negativas y que el punto isoeléctrico se desplace, lo que provoca que la estructura de las proteínas sea más abierta (Durand, 2002). Por otro lado, los fosfatos al quelar metales como el calcio, que mantiene unidas la actina y la miosina, favorecen la expansión de la estructura cuaternaria de las proteínas y el aumento de su área de hidratación (López y col., 2002).

Por último, indicar que tanto la absorción de la salmuera como la desestabilización y disminución de la cohesión entre los discos Z y la línea M dio lugar al aumento de los espacios intermiofibrilares y permitió que se pudieran observar las proteínas granulares. En este sentido, Katsaras y Budras (1993), en pernils inyectados, observaron también un acumulo de proteínas granuladas en los espacios intermiofibrilares.

En la Figura 40 se muestran secciones longitudinales del músculo *Biceps femoris* **después del masajeado** con diferentes periodos de maduración (24, 48 y 72 horas). Puede observarse que los pernils masajeados, con un periodo de maduración de 24 horas (Lote 24) presentaron una mayor longitud del sarcómero que los pernils inyectados (Figura 39). Además, la zona H y la línea M disminuyeron de anchura, lo que hizo que no fueran claramente visibles (Figura 40).

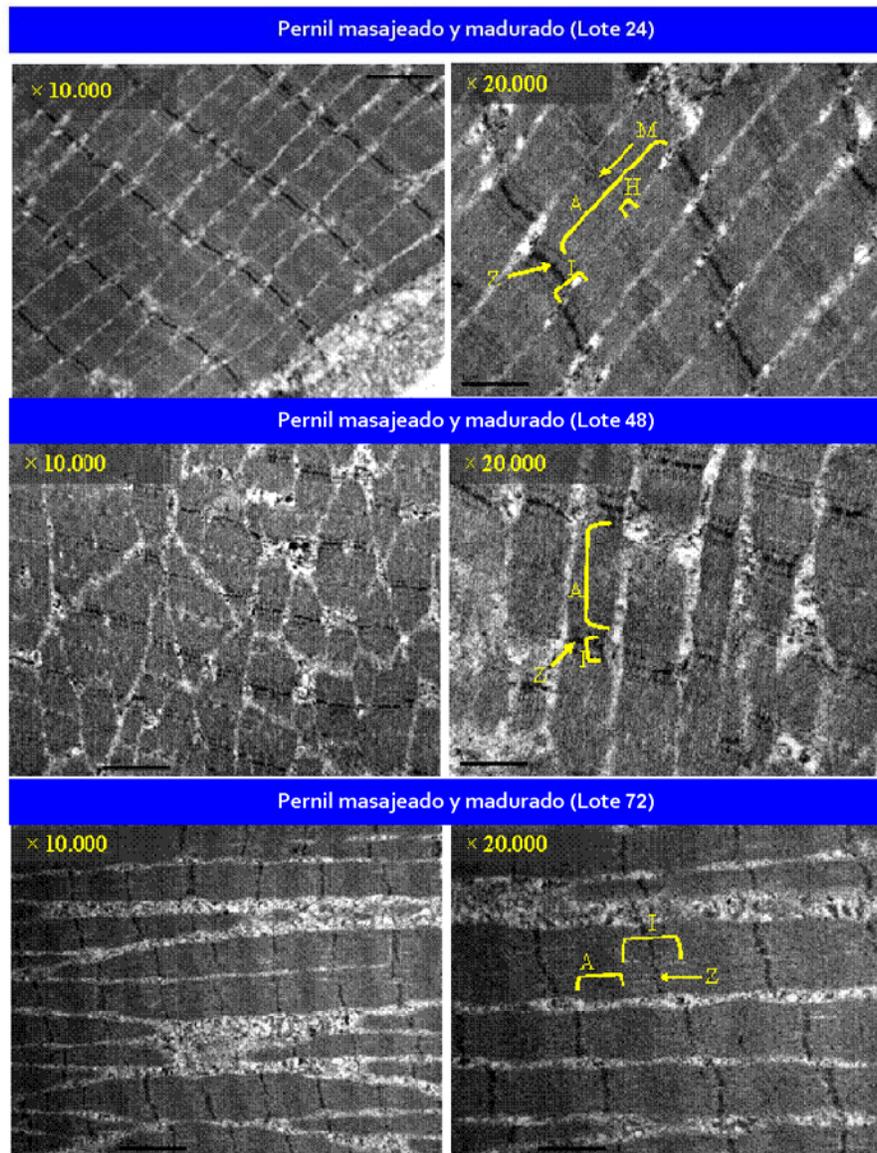


Figura 40. Secciones longitudinales del músculo *Biceps femoris* de los pernils después del proceso de masajeado y maduración (24, 48 y 72 horas) observados por MET (×10.000 y ×20.000). (Z: discos Z; M: línea M; A, I: bandas A e I; H: zona H).

Al aumentar el periodo de maduración de 24 a 48 ó 72 horas se observó que la zona H y la línea M dejaban de diferenciarse y que se producía una disminución del tamaño del sarcómero y un aumento de los espacios intermiofibrilares. Por otro lado, a medida que aumentaba el periodo de maduración se pudo observar un mayor tamaño de las miofibrillas. Así, en la Figura 40 se puede apreciar que los perniles que fueron madurados 24 horas presentaron una anchura menor que los madurados 48 horas y éstos que los madurados durante 72 horas.

Estos cambios podrían ser debidos a que con un mayor tiempo de la maduración se produciría una mayor extracción de las proteínas miofibrilares. En este sentido, Katsaras (1992) indicó que en la banda A y especialmente en la zona H, las miofibrillas aparecían desintegradas y que tenía lugar un acortamiento de los sarcómeros como consecuencia de la extracción de proteínas como la miosina. De modo similar, Straadt y col. (2007) observaron una continúa desintegración de las miofibrillas durante la maduración y un aumento en el volumen de las fibras con el periodo de maduración.

Por último, en la Figura 41 se muestra la microestructura del músculo *Biceps femoris* después de la cocción solamente de uno de los lotes elaborados, ya que no se encontraron diferencias entre ellos. Tras el proceso de cocción se produjo una mayor rotura de las miofibrillas observándose en la banda A fracturas transversales, y un acortamiento de los sarcómeros debido a que la zona H y las bandas A e I disminuyeron de anchura.

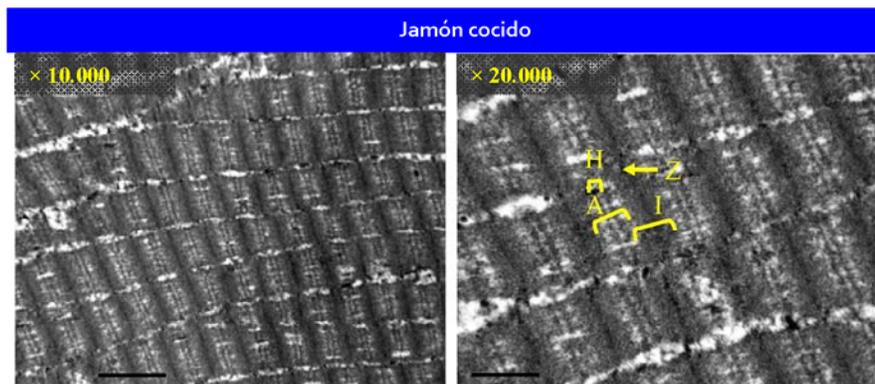


Figura 41. Secciones longitudinales del músculo *Biceps femoris* de los jamones después del proceso de cocción, observados por MET ($\times 10.000$ y $\times 20.000$) (Z: discos Z; A, I: bandas A e I; H: zona H).

6. Resultados y Discusión

Autores como Straadt y col. (2007), Flint (2007) y Astruc y col. (2010) observaron cambios similares a los obtenidos en este estudio, en tejido muscular procedente de cerdo y de ternera después de la cocción.

Los cambios estructurales observados tras el proceso de cocción son el resultado de la desnaturalización térmica de las proteínas sarcoplasmáticas, las miofibrilares y las del tejido conectivo, que implican cambios en su conformación. La desnaturalización proteica da lugar a un mayor número de grupos reactivos libres que pueden reaccionar con otros grupos, lo que incrementa las uniones intra e intermoleculares (Katsaras y Budras, 1993). El solapamiento de cadenas largas de proteínas da lugar a la formación de una red tridimensional que favorece la cohesión de los músculos del jamón cocido (Katsaras y Budras, 1993; Barbieri y Rivalvi, 2008). Este hecho, asociado a una posible pérdida de agua en los espacios intermiofibrilares, facilita que las fibras musculares se alineen juntas, lo que implica una mayor compactación de la estructura muscular y el incremento de los espacios intercelulares, después del proceso de cocción.

6.1.3.4. Efectos en el rendimiento y el AR

Los valores obtenidos en la evaluación del rendimiento del proceso y en el AR del producto final (jamón cocido) están incluidos en la Tabla 31. Puede observarse que la disminución del tiempo de maduración de 72 a 24 horas no implicó diferencias en estos parámetros ($p > 0,05$).

Tabla 31. Rendimiento y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes periodos de maduración.

	Lote*		
	Lote 72	Lote 48	Lote 24
Rendimiento (%)	^A 102,3 \pm 5,8	^A 101,6 \pm 3,3	^A 106,3 \pm 5,0
AR (%)	^A 88,5 \pm 0,5	^A 89,4 \pm 0,5	^A 88,6 \pm 0,7

* Tiempo de maduración (horas).

^A Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias entre lotes ($p < 0,05$).

En relación al **rendimiento**, los valores obtenidos en este ensayo fueron inferiores a los obtenidos en el Ensayo 1.2, en el que el rendimiento del jamón cocido elaborado con la misma cantidad de fosfatos (1.000 mg/kg pernil) fue del 110%. Estas diferencias pudieron ser una consecuencia del muestreo realizado para

estudiar la evolución de diferentes parámetros a lo largo del proceso de elaboración. Para ello, fue necesario cortar un trozo del músculo *Biceps femoris* en las diferentes etapas del proceso y, a pesar de que tras la toma de muestra se recalcularon los pesos, la manipulación del pernil pudo implicar una disminución del rendimiento. En este sentido, la presión ejercida durante el corte podría haber favorecido la liberación de parte de la salmuera retenida.

Por otro lado, la no obtención de diferencias al disminuir el tiempo de maduración puede resultar llamativa ya que, en la elaboración de jamón cocido, la maduración del pernil, tras el masajeado, favorece la extracción de proteínas miofibrilares, lo que implica la obtención de un mayor rendimiento (Xargayó y col., 2007, Xargayó y Lagares, 2008).

La realización de una tenderización junto con la inyección, así como el tipo de masajeado realizado, en el que se incluyeron tres ciclos de tratamiento mecánico a baja velocidad, intercalados con periodos de reposo, podrían haber sido suficientes para la extracción de las proteínas miofibrilares, lo que justificaría el no haber encontrado diferencias. En este sentido, Xargayó y Lagares (2008) indicaron que, en la elaboración de jamón cocido, periodos de maduración largos podrían ser sustituidos por la realización de una etapa de tenderizado junto con un adecuado proceso de masajeado. Por tanto, se podría decir que el proceso de masajeado llevado a cabo junto con la realización de la etapa de maduración de 24 horas sería suficiente para conseguir un rendimiento adecuado.

Tampoco se observaron diferencias al disminuir el tiempo de maduración en el **AR** del producto acabado ($p > 0,05$). La capacidad de retención de agua de un producto cárnico depende del pH (Ke y col., 2009) y está determinada principalmente por la cantidad de ingredientes y/o aditivos añadidos durante su elaboración (Comaposada y col., 2000; Pouttu y Puolanne, 2004). Además, la organización estructural de las proteínas musculares también influye en la distribución del agua (Straadt y col., 2007; Stadnik y col., 2008). En este sentido, teniendo en cuenta que todos los lotes fueron elaborados con los mismos ingredientes y aditivos y que el rendimiento del proceso, el pH y la microestructura del jamón cocido fueron similares los resultados obtenidos en el AR serían lógicos.

6. Resultados y Discusión

6.1.3.5. Efecto en la textura (TPA)

En la Tabla 32 se incluyen los resultados obtenidos en los parámetros evaluados en el análisis instrumental de la textura del jamón cocido. Puede observarse que la reducción del tiempo de maduración de 72 a 24 horas no implicó diferencias ($p>0,05$) en la **dureza**, la **cohesividad**, la **elasticidad** ni en la **masticabilidad** del jamón cocido.

Tabla 32. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes periodos de maduración.

	Lote*		
	Lote 72	Lote 48	Lote 24
Dureza (N)	^A 49,8 \pm 8,4	^A 40,5 \pm 8,3	^A 45,3 \pm 7,7
Cohesividad	^A 0,5 \pm 0,1	^A 0,6 \pm 0,0	^A 0,6 \pm 0,0
Elasticidad (mm)	^A 0,7 \pm 0,1	^A 0,8 \pm 0,1	^A 0,7 \pm 0,1
Masticabilidad (N\timesmm)	^A 17,9 \pm 2,3	^A 18,1 \pm 5,2	^A 17,3 \pm 3,7

* Tiempo de maduración (horas).

^A Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias entre lotes ($p<0,05$).

La etapa de maduración provoca cambios positivos en la textura del producto final debido al efecto que ejerce en la extracción de las proteínas miofibrilares. En nuestro estudio, a pesar de que se detectaron algunas diferencias en la microestructura a lo largo del proceso de elaboración, la estructura del producto final fue similar. Por otro lado, el hecho de que no se encontraran diferencias en el rendimiento (Tabla 31) podría ser indicativo de que el contenido acuoso en el producto final fue similar en todos los lotes. Todo ello podría justificar el no haber encontrado diferencias en la textura.

Por último, indicar que los valores obtenidos en los diferentes parámetros de textura evaluados fueron similares a los obtenidos en el Ensayo 1.2.

6.1.3.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial realizada con un panel de catadores entrenado de los diferentes lotes de jamón cocido elaborados se muestran en la Tabla 33. Puede observarse que la reducción del periodo de maduración de 72 a 24 horas no implicó la obtención de diferencias en ninguno de los parámetros evaluados ($p>0,05$).

Tabla 33. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes periodos de maduración, evaluadas por un panel de catadores entrenado.

	Lote*		
	Lote 72	Lote 48	Lote 24
<i>¹Aspecto visual</i>			
Homogeneidad de color	^A 2,8 \pm 0,1	^A 3,0 \pm 0,2	^A 2,4 \pm 0,6
Intensidad de color	^A 2,9 \pm 0,4	^A 3,3 \pm 0,6	^A 3,2 \pm 0,1
Ligazón	^A 2,4 \pm 0,8	^A 2,8 \pm 0,1	^A 1,8 \pm 0,5
<i>¹Olor y flavor</i>			
Intensidad del olor	^A 3,2 \pm 0,5	^A 3,7 \pm 0,4	^A 3,2 \pm 0,5
Calidad del olor	^A 3,5 \pm 0,3	^A 3,6 \pm 0,1	^A 3,7 \pm 0,3
Intensidad de flavor	^A 3,1 \pm 0,1	^A 3,5 \pm 0,3	^A 3,4 \pm 0,2
Calidad de flavor	^A 3,6 \pm 0,1	^A 3,9 \pm 0,5	^A 3,8 \pm 0,2
<i>¹Textura</i>			
Dureza	^A 2,1 \pm 0,2	^A 2,2 \pm 0,1	^A 2,0 \pm 0,3
Jugosidad	^A 2,7 \pm 0,3	^A 3,3 \pm 0,1	^A 2,7 \pm 0,4
Fibrosidad	^A 1,7 \pm 0,5	^A 1,8 \pm 0,3	^A 1,8 \pm 0,4
Masticabilidad	^A 2,4 \pm 0,2	^A 2,2 \pm 0,2	^A 2,3 \pm 0,3
²ACEPTABILIDAD GLOBAL	^A 3,8 \pm 0,3	^A 4,0 \pm 0,3	^A 3,5 \pm 0,3

* Tiempo de maduración (horas).

¹ Valoración en una escala de 5 puntos donde 1-mínima intensidad y 5-máxima intensidad.

² Valoración en una escala donde 5-excelente, 4-bueno, 3-aceptable, 2-malo y 1-inaceptable.

^A Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

Los resultados correspondientes a la evaluación sensorial del **color** y de la **textura** coinciden con los resultados obtenidos en la evaluación instrumental de estos parámetros.

En relación a la percepción del **olor** y del **flavor**, la disminución del tiempo de maduración hasta 24 horas no supuso una disminución ni en la intensidad ni en la calidad de estos parámetros. Durante la maduración, las proteínas sarcoplasmáticas principalmente, se hidrolizan en péptidos y aminoácidos por medio de proteasas, lo que influye en el desarrollo del flavor (Martín, 2002). Por tanto, el periodo de maduración de 24 horas fue suficiente para el desarrollo de las características sensoriales típicas del jamón cocido.

Finalmente, en relación a la **aceptabilidad global**, la puntuación dada por los catadores fue similar ($p > 0,05$), siendo los diferentes lotes de jamón cocido evaluados como buenos.

6.1.3.7. Resumen

Los resultados obtenidos en la evolución de los parámetros evaluados **a lo largo del proceso de elaboración**, indicaron que la reducción del periodo de maduración de 72 a 24 horas no implicaba cambios ni en el pH ni en el color. Respecto al análisis de la microestructura, aunque durante el proceso de elaboración del jamón cocido se observaron diferencias en las secciones longitudinales del músculo *Biceps femoris* debidas a la maduración durante 72, 48 ó 24 horas, la estructura en el producto final fue similar en todos los lotes.

Por otro lado, la reducción del periodo de maduración de 72 a 24 horas no implicó la obtención de diferencias ni en el rendimiento ni en el AR. Tampoco se detectaron diferencias en la textura, evaluada tanto instrumentalmente como con un panel de catadores entrenados, ni en la evaluación de otras características sensoriales, como el aspecto visual, el olor y el flavor.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se podría afirmar que la realización de una etapa de masajeado, bajo las condiciones seleccionadas, junto con un periodo de maduración de 24 horas, serían suficientes para la elaboración de jamón cocido con una cantidad reducida de nitritos y fosfatos.

6.2. CAPÍTULO 2. ELIMINACIÓN DE ADITIVOS

En este capítulo de la Tesis Doctoral se abordó la eliminación del uso de nitritos (E-249, E-250) y fosfatos (E-450, E-451, E-452) para la elaboración del jamón cocido ecológico.

En relación al uso de nitritos, los resultados obtenidos en el Ensayo 1.1 de la presente Tesis han puesto de manifiesto que en el jamón cocido, sólo es posible la reducción de este aditivo hasta 80 mg/kg pernil, debido al importante papel que estos aditivos desempeñan en el desarrollo del color. Dado que hasta el momento no se ha encontrado sustituto para este aditivo, su eliminación en la elaboración de jamón cocido ecológico se abordó desde el punto de vista de un etiquetado “blanco”, utilizando compuestos naturales. Así, en el Ensayo 2.1 el uso de nitritos se sustituyó por el empleo de un extracto vegetal de apio y zanahoria (fuente natural de nitrato) y un cultivo iniciador con actividad nitrato reductasa (*Staphylococcus carnosus*) optimizándose el proceso de elaboración de este producto.

Respecto a los fosfatos, en el Ensayo 1.2 se ha puesto de manifiesto que para obtener un producto de calidad, con las características propias del jamón cocido, la eliminación total del uso de fosfatos no es viable. Por otro lado, dado que la legislación actual relativa a la producción ecológica (DOUE, 2008) no se contempla el uso de este aditivo, en el Ensayo 2.2 se abordó la eliminación del uso de fosfatos mediante la utilización de citrato sódico y/o la aplicación de altas presiones hidrostáticas. Estas estrategias fueron seleccionadas teniendo en cuenta tanto los requerimientos legales para la elaboración de estos productos como su potencial eficacia.

Finalmente, en el Ensayo 2.3, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los dos ensayos anteriores, se eliminó el uso de nitritos y fosfatos mediante la utilización de extractos vegetales de apio y zanahoria, y la utilización de citrato sódico.

6.2.1. Ensayo 2.1. Eliminación de nitritos

En este ensayo con objeto de eliminar el uso de nitritos en el jamón cocido se elaboró un Lote Control con nitritos (80 mg/kg pernil), y dos lotes con extractos vegetales y un cultivo iniciador (*Staphylococcus carnosus*) adquiridos en diferentes casas comerciales: Lote Ext-A (2.200 mg/kg pernil) y Lote Ext-B (15.000 mg/kg pernil). Los extractos vegetales y el cultivo iniciador se utilizaron siguiendo las recomendaciones establecidas por la casa comercial distribuidora de dichos preparados. Por ello, en estos lotes el programa de cocción se modificó para que la temperatura en el interior de los perniles se mantuviera entre 15-42°C durante 220 min (Lote Ext-A) y 320 min (Lote Ext-B). En el Lote Control, el tiempo de permanencia de los perniles en el rango de temperatura 15-42°C fue de 160 minutos, según el procedimiento general. En cada lote se determinaron el rendimiento, el pH, la a_w , el AR, la composición proximal, el contenido en aditivos, el color (L^* , a^* y b^*) y la textura (TPA) del jamón cocido. Además, se realizó una prueba sensorial descriptiva con un panel de catadores entrenado.

6.2.1.1. Efectos en el rendimiento, pH, a_w y AR

En la Tabla 34 se presentan los valores obtenidos en el rendimiento, el pH, la a_w y el AR de cada lote de jamón cocido elaborado en este estudio. Se puede observar que el empleo de extractos vegetales y la realización de diferentes programas de cocción no afectaron a estos parámetros ($p > 0,05$).

Tabla 34. Rendimiento, pH, a_w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.

	Lote*		
	Control	Ext-A	Ext-B
Rendimiento (%)	^A 110,3 \pm 3,3	^A 111,6 \pm 2,3	^A 112,5 \pm 3,8
pH	^A 6,2 \pm 0,1	^A 6,1 \pm 0,1	^A 6,1 \pm 0,1
a_w	^A 0,977 \pm 0,001	^A 0,976 \pm 0,001	^A 0,976 \pm 0,002
AR (%)	^A 89,8 \pm 0,4	^A 88,8 \pm 0,4	^A 90,0 \pm 0,6

* Control: 80 mg/kg nitritos, 160 min; Ext-A: 2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min; Ext-B: 15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min.

^AMedias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

A diferencia de los resultados obtenidos, cabría esperar que mediante la realización de un programa de cocción de mayor duración se obtuviera un menor **rendimiento** ya que es bien conocido que durante la cocción la carne pierde agua y compuestos hidrosolubles debido a la desnaturalización de las proteínas cárnicas (Lawrie, 1998; Cheng y Sun, 2007). Al aumentar la temperatura se acelera la agitación molecular del agua libre y una parte del agua ligada de las proteínas se convierte en agua libre en movimiento, debido a la disminución de la capacidad de retención de agua de las proteínas miofibrilares y a un incremento de la temperatura por encima de 45°C (Martín, 2002). Baublits y col. (2006b) y Moeller y col. (2010) en la elaboración de productos cárnicos cocidos observaron que a medida que se aumenta la temperatura final de cocción (de 71 a 82°C o de 63 a 80°C) se obtenían mayores pérdidas por cocción, que implicaban un menor rendimiento. Por tanto, la temperatura final a la que se lleva a cabo el proceso de cocción es un factor crítico en el rendimiento del producto. Teniendo en cuenta lo expuesto, el haber realizado todos los lotes con programas de cocción con la misma temperatura final (72°C), podría justificar el que no se hayan encontrado diferencias en el rendimiento entre los lotes elaborados en este ensayo.

Por otro lado, el hecho de que en las diferentes salmueras utilizadas el porcentaje y tipo de sólidos totales fuera distinto (Tabla 12) podría haber implicado diferencias en el **pH**, la **a_w** y el **AR**. Tampoco, Sindelar y col. (2007b) y Krause y col. (2011) encontraron diferencias en el pH del jamón cocido elaborado con nitritos o con diferentes concentraciones de extractos vegetales. En nuestro estudio, la utilización de la misma cantidad y tipo de fosfatos así como la misma temperatura final de cocción podría haber hecho que no se detectaran diferencias entre lotes, ya que estos factores se encuentran entre los que más influyen en el pH, y el AR. Por otro lado, en relación a la **a_w**, las diferencias encontradas en el contenido de cloruro sódico en el producto final, que se describen más adelante (apartado 6.2.1.3), pudieron compensar el mayor contenido de solutos disueltos en el producto elaborado con extractos vegetales en relación al elaborado con nitritos.

6.2.1.2. Efecto en la composición proximal

En la Tabla 35 están incluidos los resultados obtenidos en la composición proximal de cada uno de los lotes de jamón cocido elaborado. No se observaron

6. Resultados y Discusión

diferencias ($p > 0,05$) en el porcentaje de **humedad**, de **grasa**, de **proteína** y de **ceniza** entre los tres lotes de jamón cocido elaborados.

Tabla 35. Composición proximal (Media \pm SD), expresada en materia fresca, del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.

	Lote*		
	Control	Ext-A	Ext-B
Humedad (%)	^A 75,5 \pm 1,1	^A 72,7 \pm 1,2	^A 72,9 \pm 1,6
Grasa (%)	^A 4,2 \pm 1,0	^A 3,6 \pm 0,0	^A 6,1 \pm 1,4
Proteína (%)	^A 16,6 \pm 0,6	^A 17,7 \pm 0,1	^A 17,1 \pm 0,5
Ceniza (%)	^A 3,5 \pm 0,2	^A 3,1 \pm 0,1	^A 3,2 \pm 0,2

* Control: 80 mg/kg nitritos, 160 min; Ext-A: 2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min; Ext-B: 15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min.

^AMedias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

De manera similar a los resultados obtenidos en este estudio, Sindelar y col. (2007b) tampoco encontraron diferencias en la composición proximal entre el jamón cocido elaborado con extractos vegetales y el elaborado con nitrito sódico. Tampoco, Desmond y Kenny (2005) observaron un efecto significativo de la realización de diferentes programas de cocción en la composición proximal del jamón cocido.

Por último, indicar que los valores obtenidos en la composición proximal del jamón cocido fueron similares a los obtenidos en el Capítulo 1 de la presente Tesis.

6.2.1.3. Efecto en el contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos

En la Tabla 36 se pueden observar los valores obtenidos en el contenido de cloruro sódico, nitritos, nitratos y fosfatos de los diferentes lotes de jamón cocido elaborados en este estudio.

Puede observarse que el jamón cocido del Lote Control presentó el mayor contenido de **cloruro sódico** ($p < 0,05$). Dado que todas las salmueras fueron formuladas con el mismo porcentaje de cloruro sódico, este resultado podría ser debido a diferencias en la retención de la salmuera. De hecho, los porcentajes de salmuera retenida, calculados a partir del porcentaje de cloruro sódico y del porcentaje de humedad de acuerdo con Samelis y col. (2000), fueron 3,08% en el

Lote Control y de 2,55 y 2,28% en los lotes elaborados con los Extractos A y B, respectivamente. Estas diferencias en el porcentaje de salmuera retenida entre el lote elaborado con nitritos y los elaborados con extractos vegetales indicarían una posible interferencia de los extractos vegetales en la absorción de la salmuera.

Tabla 36. Contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrato sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.

	Lote*		
	Control	Ext-A	Ext-B
Cloruro sódico (%)	^B 2,4 \pm 0,1	^A 1,9 \pm 0,0	^A 1,7 \pm 0,2
Nitratos (mg/kg)	<20	^A 27,0 \pm 4,6	^B 58,5 \pm 6,1
Nitritos (mg/kg)	<10	24,7 \pm 5,0	<10
Fosfatos (mg/kg)	^A 4.570 \pm 127	^A 4.578 \pm 49	^A 4.565 \pm 200

* Control: 80 mg/kg nitritos, 160 min; Ext-A: 2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min; Ext-B: 15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min.

^{A,B} Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

En cuanto al contenido de nitratos y nitritos residuales, se encontraron diferencias significativas entre lotes, derivadas tanto del uso de extractos vegetales como del tipo de extracto. En el Lote Control, los niveles de nitratos y nitritos residuales estuvieron por debajo del límite de detección. El jamón cocido del Lote Ext-A presentó el menor contenido de nitratos ($p < 0,05$) y el mayor de nitritos ($p < 0,05$) en comparación con el del Lote Ext-B. Teniendo en cuenta que en ambos lotes la salmuera utilizada contenía la misma cantidad de nitratos y de cultivo iniciador, los jamones del Lote Ext-B deberían haber presentado el mayor contenido en nitritos ya que permanecieron en el rango de temperatura de 15-42°C (óptimo para la actividad nitrato-reductasa del cultivo iniciador) mayor tiempo que los del Lote Ext-A. La principal diferencia entre el Ext-A y el Ext-B fue la inclusión de extracto de levadura en la formulación del Ext-A. Es conocido que el extracto de levadura se utiliza en una amplia variedad de medios de cultivo como factor de crecimiento, por ser una excelente fuente de nutrientes. Por ello, su inclusión en el Ext-A pudo ser la causa de que en este lote, la transformación de nitratos a nitritos fuera mayor.

A pesar de las diferencias obtenidas, los valores de nitritos y nitratos residuales presentes en los lotes elaborados con extractos vegetales se encuentran dentro del

rango de valores indicados por otros autores que elaboraron jamón cocido con esta estrategia (Sindelar y col., 2007b; Krause y col., 2011).

Por último, en relación al contenido de **fosfatos**, la inclusión de extractos vegetales y la realización de diferentes ciclos de cocción no implicaron la obtención de diferencias ($p>0,05$) entre ninguno de los lotes elaborados en este ensayo. Teniendo en cuenta que las salmueras de todos los lotes se elaboraron con la misma concentración de fosfatos, este resultado es lógico. Sin embargo, es preciso indicar que el mayor porcentaje de salmuera retenida en el Lote Control podría haber dado lugar a un mayor contenido en fosfatos en el producto final. Estas diferencias no se han observado probablemente porque la cantidad de fosfatos utilizada fue muy baja (1.000 mg/kg pernil).

6.2.1.4. Efectos en el color (L^* , a^* , b^*)

En la Tabla 37 están incluidos los resultados obtenidos en la evaluación instrumental del color del jamón cocido de cada uno de los lotes elaborados. Se puede observar que el empleo de extractos vegetales y la realización de diferentes programas de cocción no afectaron a los parámetros L^* , a^* y b^* ($p>0,05$). En este sentido, se podría indicar que con ambos extractos vegetales se proporcionaron la cantidad de nitritos suficiente para el desarrollo del color rosa característico del jamón cocido.

Tabla 37. Color (L^* , a^* , b^*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.

	Lote*		
	Control	Ext-A	Ext-B
L^*	^A 60,9 \pm 1,3	^A 61,3 \pm 3,3	^A 60,0 \pm 2,2
a^*	^A 8,7 \pm 0,8	^A 8,8 \pm 0,7	^A 7,7 \pm 1,5
b^*	^A 7,6 \pm 0,7	^A 8,7 \pm 0,5	^A 8,0 \pm 0,0

* Control: 80 mg/kg nitritos, 160 min; Ext-A: 2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min; Ext-B: 15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min.

^A Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p<0,05$).

El hecho de no encontrar diferencias en el color indica que en todos los lotes se produjo tanto una distribución adecuada de la salmuera, como una correcta transformación de los pigmentos responsables del color.

Sindelar y col. (2007b) tampoco encontraron diferencias en el color entre el jamón cocido elaborado con extractos vegetales y el elaborado con nitrito sódico (200 mg/kg). Estos autores obtuvieron valores de a^* y b^* superiores (18,4 y 13,9, respectivamente) a los obtenidos en nuestro ensayo, debido probablemente tanto a la utilización de distintas concentraciones de aditivos y extractos vegetales como a diferencias en la materia prima y en el proceso tecnológico de elaboración de estos productos.

6.2.1.5. Efecto en la textura (TPA)

Los resultados obtenidos en la evaluación instrumental de la textura (TPA) (Tabla 38) indican que la utilización de extractos vegetales y diferentes programas de cocción no implicaron diferencias ($p > 0,05$) en la **dureza**, la **elasticidad**, la **cohesividad** y la **masticabilidad** del jamón cocido.

Tabla 38. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.

	Lote*		
	Control	Ext-A	Ext-B
Dureza (N)	^A 51,4 \pm 3,4	^A 47,1 \pm 3,0	^A 56,2 \pm 3,0
Cohesividad	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0
Elasticidad (mm)	^A 0,8 \pm 0,0	^A 0,8 \pm 0,0	^A 0,8 \pm 0,0
Masticabilidad (N\timesmm)	^A 20,7 \pm 2,4	^A 19,7 \pm 0,4	^A 23,3 \pm 1,5

* Control: 80 mg/kg nitritos, 160 min; Ext-A: 2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min; Ext-B: 15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min.

^A Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

La utilización de extractos vegetales puede dar lugar a modificaciones en la textura de los productos en los que se utilizan, como consecuencia de su contenido en fibra, ya que la incorporación de este tipo de partículas en la matriz proteica puede fortalecer los enlaces formados durante la cocción, lo que podría implicar un aumento de la dureza (Viuda-Martos y col., 2010a). Este efecto depende tanto del tipo de extracto como del contenido en fibra del mismo.

Sánchez-Zapata y col. (2011) observaron una disminución de la dureza y la cohesividad cuando elaboraron salchichas cocidas con diferentes cantidades de pasta de dátil con un contenido bajo en fibra alimentaria total (7g/100g). Por el contrario, autores como Fernández-Ginés y col. (2003), García y col. (2007) y

Viuda-Martos y col. (2010a) encontraron un aumento de la dureza al elaborar salchichas cocidas con diferentes tipos de extractos de frutas (de naranja, de manzana, de melocotón) y diferentes concentraciones de los mismos. Este comportamiento de 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 embutidos fermentados elaborados con puerro liofilizado, Tsoukalas y col. (2011) también observaron una mayor dureza y menor cohesividad. En todos los casos se indicó que el alto contenido en fibra alimentaria de estos ingredientes fue el responsable del incremento de la dureza.

En nuestro estudio el bajo contenido en fibra de los extractos vegetales (1,1 g/100g) usados en la elaboración del jamón cocido, pudo ser la causa por la que no se encontraron diferencias en la textura.

6.2.1.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial llevado a cabo mediante un panel de catadores entrenados se presentan en la Tabla 39. En la Figura 42 se muestra el aspecto visual del jamón cocido de los diferentes lotes.

En el aspecto visual no se encontraron diferencias ($p>0,05$) entre los diferentes lotes de jamón cocido elaborado ni en la **homogeneidad e intensidad del color** ni en la **ligazón**. Estos resultados coinciden con los obtenidos en la evaluación instrumental del color. Respecto a la ligazón, los resultados obtenidos podrían considerarse lógicos, teniendo en cuenta que todos los lotes fueron elaborados con la misma concentración de fosfatos, aditivos determinantes de la ligazón de los músculos de los productos cárnicos.

En relación al **olor y flavor**, la utilización de diferentes concentraciones de extractos vegetales y la realización de diferentes programas de cocción solo implicó diferencias en la calidad del olor y del flavor ($p<0,05$). El jamón cocido del Lote Ext-B presentó los valores más bajos ($p<0,05$) en estos parámetros. En este caso, los catadores percibieron olor y flavor a vegetales, que describieron como fuerte y desagradable. El jamón cocido del Lote Ext-A presentó una calidad de olor similar ($p>0,05$) a la del Lote Control, sin embargo, la calidad del flavor fue menor

($p < 0,05$). En este sentido, en el jamón cocido del Lote Ext-A, los catadores indicaron que habían detectado un ligero flavor a vegetales.

Tabla 39. Características sensoriales (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con nitrito sódico o con diferentes preparados de extractos vegetales y diferentes programas de cocción.

	Lote*		
	Control	Ext-A	Ext-B
<i>¹Aspecto visual</i>			
Homogeneidad de color	^A 3,6 \pm 0,1	^A 2,9 \pm 0,4	^A 2,9 \pm 0,3
Intensidad de color	^A 3,1 \pm 0,2	^A 3,6 \pm 0,1	^A 2,8 \pm 0,7
Ligazón	^A 3,1 \pm 0,8	^A 3,0 \pm 0,3	^A 3,0 \pm 0,4
<i>¹Olor y flavor</i>			
Intensidad de olor	^A 3,4 \pm 0,1	^A 3,6 \pm 0,7	^A 3,5 \pm 0,1
Calidad de olor	^B 4,4 \pm 0,0	^B 3,8 \pm 0,4	^A 1,9 \pm 0,3
Intensidad de flavor	^A 3,8 \pm 0,3	^A 3,6 \pm 0,4	^A 3,1 \pm 0,3
Calidad de flavor	^C 5,0 \pm 0,0	^B 3,8 \pm 0,3	^A 2,5 \pm 0,3
<i>¹Textura</i>			
Dureza	^A 2,0 \pm 0,4	^A 2,1 \pm 0,3	^A 2,5 \pm 0,1
Jugosidad	^A 3,3 \pm 0,1	^A 3,6 \pm 0,1	^A 2,9 \pm 0,5
Fibrosidad	^A 1,7 \pm 0,2	^A 1,7 \pm 0,4	^A 2,0 \pm 0,1
Masticabilidad	^A 1,9 \pm 0,3	^A 2,0 \pm 0,0	^A 2,2 \pm 0,3
² ACEPTABILIDAD GLOBAL	^B 4,2 \pm 0,1	^B 4,2 \pm 0,1	^A 3,1 \pm 0,2

* Control: 80 mg/kg nitritos, 160 min; Ext-A: 2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min; Ext-B: 15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min.

¹ Valoración en una escala de 5 puntos donde 1-mínima intensidad y 5-máxima intensidad.

² Valoración en una escala donde 5-excelente, 4-bueno, 3-aceptable, 2-malo y 1-inaceptable.

^{A, B, C} Medias con diferentes superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

Respecto a la evaluación de la textura, no se observó efecto ($p > 0,05$) al utilizar diferentes extractos vegetales y diferentes programas de cocción en la **dureza**, **jugosidad**, **fibrosidad** y **masticabilidad** del jamón cocido de los diferentes lotes, coincidiendo estos resultados con los obtenidos en la evaluación instrumental de la textura. En relación a la **jugosidad**, destacar que a pesar del mayor contenido en cloruro sódico del jamón cocido del Lote Control (Tabla 36), no se detectaron diferencias ($p > 0,05$) en este parámetro. La jugosidad es una medida de la cantidad de jugos liberados durante la masticación, que depende del contenido acuoso y del

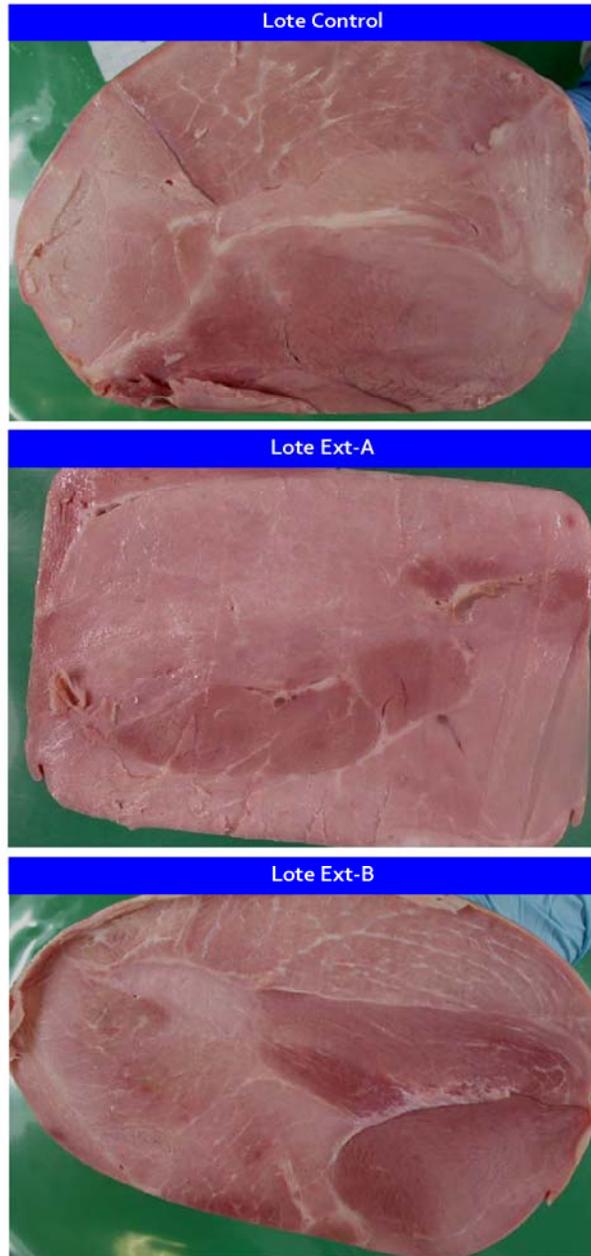


Figura 42. Aspecto visual del jamón cocido del Lote Control (80 mg/kg nitritos, 160 min), Lote Ext-A (2.200 mg/kg extractos vegetales, 220 min) y Lote Ext-B (15.000 mg/kg extractos vegetales, 320 min).

contenido graso del alimento y que puede estar influenciada por la concentración de sal, ya que ésta estimula la secreción salivar. Matulis y col. (1994, 1995) indicaron que en productos cárnicos cocidos, como las salchichas, la jugosidad estaba relacionada fundamentalmente con el contenido graso de las mismas, ya que el efecto estimulante de la grasa sobre el flujo salivar, era más duradero que el de otros parámetros. En nuestro estudio, dado que los porcentajes de humedad y grasa fueron similares (Tabla 35) en los tres lotes, es lógico que no se detectarían diferencias en la jugosidad.

Finalmente, en cuanto a la **aceptabilidad global**, el jamón cocido del Lote Ext-B presentó la menor puntuación ($p < 0,05$). Según la escala utilizada, este lote fue evaluado como aceptable, mientras que el jamón cocido de los lotes Control y Ext-A fueron evaluados como buenos. La presencia de olor y flavor a vegetales, no habitual en el jamón cocido, fue lo que hizo que la aceptabilidad del jamón cocido del Lote Ext-B recibiera estas puntuaciones.

6.2.1.7 Resumen

El empleo de distintos preparados de extractos vegetales con diferentes programas de cocción no implicó cambios en el rendimiento, el pH, la a_w , el AR y la composición proximal del jamón cocido en comparación con el producto elaborado con nitrito sódico. En relación al contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos, la utilización de extractos vegetales en la elaboración de jamón cocido dio lugar a un producto con un menor contenido de cloruro sódico y mayores niveles residuales de nitratos y nitritos. La utilización de extractos vegetales tampoco afectó el color y la textura del jamón cocido. Sin embargo, si supuso una menor puntuación en el olor y el flavor de estos productos, debido a que los catadores percibieron olor y flavor a vegetales, que describieron como ligeros (Ext-A) o fuertes y desagradables (Ext-B). Este hecho hizo que la aceptabilidad global del jamón cocido del Lote Ext-B fuera inferior a la de los otros lotes.

En base a los resultados obtenidos en este ensayo, se puede concluir que la utilización del Ext-A permite elaborar un jamón cocido sin la adición directa de nitritos, con características similares a las del jamón cocido elaborado con nitrito sódico.

6.2.2. Ensayo 2.2. Eliminación de fosfatos

En este estudio se evaluó la posibilidad de eliminar el uso de fosfatos mediante la utilización de citrato sódico y/o la aplicación de altas presiones hidrostáticas (APH). Para ello, se elaboró jamón cocido con 80 mg/kg de nitritos y con diferentes formulaciones: F-con fosfatos (1.000 mg/kg), C-con citratos (3.000 mg/kg) y SFC-sin fosfatos ni citratos. Para cada una de estas formulaciones se elaboró un lote control siguiendo el procedimiento convencional (Tratamiento CO). En el caso de las Formulaciones C y SFC se aplicó un tratamiento de APH (200 MPa, 10 min a 15°C) antes de la cocción, y la elaboración se realizó tanto según el procedimiento convencional (Tratamiento M-APH) como con uno alternativo en el que se suprimió la etapa de masajeado (Tratamiento SM-APH). En cada una de las formulaciones y tratamientos se determinaron el rendimiento, el pH, el color (L*, a* y b*), la textura (TPA) y la loncheabilidad del jamón cocido y se realizó un análisis sensorial (perfil descriptivo) con un panel de catadores entrenado.

6.2.2.1. Efecto en el rendimiento

En la Tabla 40 están incluidos los resultados obtenidos en la evaluación del **rendimiento** de los distintos tipos de jamón cocido elaborados en este estudio.

Tabla 40. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el rendimiento (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.

	Formulación	Tratamiento CO	Tratamiento M-APH	Tratamiento SM-APH
Rendimiento	F	^B 110,3 \pm 3,3 _a	---	---
	C	^A 100,5 \pm 1,1 _a	^B 99,8 \pm 4,7 _a	^B 98,2 \pm 0,3 _a
	SFC	^A 95,3 \pm 5,7 _a	^A 94,0 \pm 1,0 _a	^A 90,4 \pm 2,7 _a

^{A, B} Medias con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias entre formulaciones ($p < 0,05$).

_a Medias con diferentes subíndices en la misma fila indican diferencias entre los distintos tratamientos ($p < 0,05$).

Respecto a las diferentes formulaciones puede observarse que en el jamón cocido no tratado con APH (Tratamiento CO), el producto elaborado con fosfatos fue el que presentó el mayor rendimiento ($p < 0,05$) y que el uso de citrato sódico no implicó ninguna mejora en el rendimiento respecto al jamón cocido elaborado sin fosfatos. Sin embargo, en el jamón cocido elaborado sin fosfatos y tratado con

APH (Tratamientos M-APH y SM-APH) la inclusión de citrato sódico en la formulación permitió obtener un rendimiento mayor ($p < 0,05$).

El citrato sódico aumenta el pH, la capacidad de unir agua (Ruusunen y col., 2003b) y es capaz de quelar metales iónicos (Bouchart y Merrit, 1979). En este sentido, podría actuar de manera similar que los fosfatos ya que puede quelar el calcio que junto con el magnesio participa en la unión de las proteínas miofibrilares mediante puentes formados por dichos cationes, favoreciendo en este sentido la expansión cuaternaria de las proteínas y consecuentemente, aumentando su hidratación. Este hecho implicaría una mayor retención de la salmuera y un mayor rendimiento. Sin embargo, en este ensayo en el producto no tratado con APH este efecto no fue detectado. Por el contrario, en el producto tratado se observó un efecto positivo al incluir citrato, lo que podría indicar que el tratamiento de APH pudo potenciar el efecto de este aditivo. Sammel y Claus (2006), en la elaboración de pechuga de pavo cocida a partir de carne picada, no observaron cambios en el rendimiento utilizando cantidades de citrato sódico superiores (5.000-10.000 mg/kg) a las utilizadas en este ensayo (3.000 mg/kg). No obstante, es preciso indicar que estos autores utilizaron también tripolifosfatos (5.000 mg/kg), lo que podría haber enmascarado el efecto del citrato.

En relación a los distintos tratamientos llevados a cabo, tanto en el jamón cocido elaborado con citratos como en el elaborado sin fosfatos ni citratos, la aplicación de altas presiones no supuso una mejora del rendimiento. Según Cheftel y Culioli (1997), la aplicación de APH provoca la solubilización y extracción de proteínas miofibrilares, lo que favorece la unión de los músculos durante la cocción y da lugar a estructuras más firmes. Por otro lado, una mayor extracción de proteínas miofibrilares implica una mayor retención de agua (Sikes y col., 2009) y consecuentemente, unas menores pérdidas por cocción y un mayor rendimiento. Sin embargo, en los estudios realizados hasta el momento no queda claro el efecto de la aplicación de APH en el rendimiento de los productos cárnicos.

Mandava y col. (1994) cuando aplicaron presiones comprendidas entre 50-380 MPa (5 min, 10°C) en una emulsión cárnica embutida observaron que la aplicación de 100-200 MPa aumentaba el rendimiento de las salchichas elaboradas con una baja concentración de cloruro sódico (1,5%) y con 5.000 mg/kg de fosfatos. Por el contrario, cuando aplicaron presiones por encima de 200 MPa, el efecto en el

rendimiento fue negativo, lo que atribuyeron a una probable desnaturalización de las proteínas. Crehan y col. (2000) observaron que cuando se aplicaban 150 MPa (5 min, 15-20°C) en carne de ternera picada, disminuían las pérdidas por cocción y por tanto, aumentaba el rendimiento, en las salchichas cocidas elaboradas con la misma y con 2,5-5% de cloruro sódico y 2.500 mg/kg de fosfatos. Sin embargo, no encontraron diferencias en las pérdidas por cocción cuando aplicaron una presión de 300 MPa (5 min, 15-20°C). Por otro lado, Iwasaki y col. (2006) observaron que cuando no se incluía cloruro sódico en la formulación de salchichas de cerdo, la aplicación en la carne de un tratamiento previo de APH (100-400 MPa, 10-20 min, 15-20°C) implicaba el doble de pérdidas por cocción que en las muestras no presurizadas. Sin embargo, cuando en la formulación del producto se incluía cloruro sódico en porcentajes del 1-2%, la aplicación de 200 y 300 MPa suponía una disminución de las pérdidas por cocción. Este efecto del cloruro sódico no fue detectado cuando se aplicaban 400 MPa. De modo similar, Sikes y col. (2009) en salchichas elaboradas con carne de ternera indicaron que cuando se utilizaba cloruro sódico en concentraciones de 0,5%, 1,0% ó 2% y se aplicaba una presión de 200 MPa (2 min, 14°C) antes de la cocción, estos productos presentaban una reducción de las pérdidas por cocción, siendo estas pérdidas menores que cuando se aplicaban 100 ó 400 MPa. Sin embargo, estos autores, a diferencia de Iwasaki y col. (2006) observaron que cuando no se añadía cloruro sódico la aplicación de APH no producía efecto alguno en las pérdidas de cocción.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los estudios anteriores se puede indicar que para obtener un efecto positivo de las APH en las pérdidas por cocción y, por tanto, en el rendimiento de los productos cárnicos cocidos, es necesaria la inclusión de cloruro sódico en el producto. Por otro lado, en los productos cárnicos cocidos elaborados con cloruro sódico este efecto es mayor cuando se aplican presiones de 200-300 MPa que cuando la presión es de 100-200 MPa.

En el presente estudio, a pesar de que en la formulación del producto se incluyó un 1,4% de cloruro sódico (8,4% en salmuera Tabla 14, en Materiales y Métodos) y de que el tratamiento de APH fue de 200 MPa no se encontró efecto de las APH. Es preciso indicar que este estudio se llevó a cabo en un producto inyectado y que el proceso de inyección por sí solo implica rotura de estructuras celulares, lo que favorece la admisión de la salmuera por la carne. Además, en dicho proceso se incluyó una tenderización que también supone la realización de cortes en la carne

para favorecer del mismo modo la admisión de la salmuera. Por tanto, estos tratamientos previos a la aplicación de las APH podrían ser los responsables de la no obtención de diferencias en el rendimiento entre las muestras tratadas y sin tratar. En este sentido, los estudios realizados por Suzuki y col. (1991) indicaron que el efecto de las APH no era igual en la carne intacta y en un extracto de miofibrillas. Estos autores indicaron que a 200 MPa únicamente se observaban cambios en la estructura del sarcómero en la carne intacta.

Por último, el hecho de no haber encontrado diferencias entre el rendimiento del jamón cocido del Tratamiento M-APH y del Tratamiento SM-APH, indica que el tratamiento de APH aplicado debió ejercer algún efecto en la extracción de proteínas miofibrilares. Cheftel y Culioli (1997) indicaron que la presión probablemente actúa rompiendo los enlaces de los cationes divalentes que mantienen unidas las proteínas, de modo que cuando la presión cesa la probabilidad de que se vuelvan a formar estos enlaces se reduce debido a los cambios conformacionales que sufren las proteínas tanto por la aplicación de presión como por la utilización de cloruro sódico. Como consecuencia, se produce un aumento de la solubilización de las proteínas y de la CRA que persiste después del cese de la presión (Macfarlane, 1985).

6.2.2.2. Efecto en el pH

En la Tabla 41 se muestran los valores obtenidos en la evaluación del pH del jamón cocido elaborado con diferentes formulaciones y tratamientos.

Tabla 41. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el pH (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.

	Formulación	Tratamiento CO	Tratamiento M-APH	Tratamiento SM-APH
pH	F	^A 6,2 \pm 0,1 _a	---	---
	C	^A 6,1 \pm 0,1 _a	^A 6,3 \pm 0,1 _{ab}	^A 6,4 \pm 0,1 _b
	SFC	^A 6,1 \pm 0,1 _a	^A 6,2 \pm 0,2 _{ab}	^A 6,4 \pm 0,1 _b

^A Medias con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias entre formulaciones ($p < 0,05$).

_{a, b} Medias con diferentes subíndices en la misma fila indican diferencias entre los distintos tratamientos ($p < 0,05$).

En relación a las diferentes formulaciones, no se encontraron diferencias en el pH en ningún tratamiento. Tampoco Ruusunen y col. (2003a, 2003b) observaron cambios en el pH en salchichas cocidas elaboradas sin fosfatos y con un bajo contenido en cloruro sódico cuando añadían citrato sódico (2.500-5.000 mg/kg), aunque indicaron que la adición de este aditivo implicaba un aumento del pH de la masa antes de la cocción.

Respecto a los tratamientos, tanto en el jamón cocido elaborado con o sin citrato sódico sólo se observó efecto de la aplicación de APH en el pH ($p < 0,05$) cuando no se realizó la etapa de masajeado. En estudios realizados en lomo de cerdo, carne de ternera y en emulsiones de carne de cerdo se ha observado que las altas presiones incrementan el pH (Hong y col., 2008; Sikes y col., 2009, 2010). El tratamiento con altas presiones provoca la desnaturalización proteica, lo implica una disminución de la disponibilidad de los grupos ácidos, incrementando de esta manera el pH (Poulter y col., 1985). Este cambio que tiene lugar en el pH cuando se aplican APH es similar al cambio que tiene lugar en el pH cuando ocurre la desnaturalización proteica, debido a la aplicación de calor (Hamm, 1960). Sin embargo, este efecto no se observó en el jamón cocido elaborado con masajeado debido probablemente a que durante esta etapa se producen cambios bioquímicos que pueden provocar una ligera elevación de pH (Forrest, 1979).

6.2.2.3. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*)

Los valores obtenidos en la evaluación instrumental del color en los distintos lotes de jamón cocido elaborados en este ensayo se muestran en la Tabla 42.

En relación a las formulaciones, puede observarse que no se encontraron diferencias en los índices L^* , a^* y b^* en ninguno de los tratamientos. En cuanto a la utilización o no de fosfatos, estos resultados confirman los obtenidos en el Ensayo 1.2, en el que tampoco se observaron diferencias en el color entre el jamón cocido elaborado con diferentes concentraciones de fosfatos y los elaborados sin fosfatos (Tabla 26).

Respecto a los citratos, la utilización de este aditivo tampoco implicó cambios en el color entre formulaciones. El citrato sódico, al igual que los fosfatos, es capaz de secuestrar iones metálicos y actuar como antioxidante o como coadyuvante de los antioxidantes, por lo que podría influir en el color de los productos cárnicos.,

Tabla 42. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el color (L^* , a^* , b^*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.

	Formulación	Tratamiento CO	Tratamiento M-APH	Tratamiento SM-APH
L^*	F	$^{A}60,9 \pm 1,3_a$	---	---
	C	$^{A}63,5 \pm 5,3_a$	$^{A}64,5 \pm 1,7_a$	$^{A}66,0 \pm 0,1_a$
	SFC	$^{A}64,6 \pm 1,6_a$	$^{A}65,7 \pm 3,3_a$	$^{A}66,9 \pm 1,7_a$
a^*	F	$^{A}8,7 \pm 0,8_a$	---	---
	C	$^{A}8,0 \pm 1,6_a$	$^{A}7,7 \pm 0,0_a$	$^{A}7,7 \pm 0,6_a$
	SFC	$^{A}7,7 \pm 0,8_a$	$^{A}7,8 \pm 1,5_a$	$^{A}8,0 \pm 1,0_a$
b^*	F	$^{A}7,6 \pm 0,7_a$	---	---
	C	$^{A}7,7 \pm 0,2_b$	$^{A}5,4 \pm 0,5_a$	$^{A}8,2 \pm 0,2_b$
	SFC	$^{A}7,6 \pm 0,7_b$	$^{A}6,4 \pm 1,4_a$	$^{A}8,0 \pm 1,8_{ab}$

^A Medias con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias entre formulaciones ($p < 0,05$).

^{a, b} Medias con diferentes subíndices en la misma fila indican diferencias entre los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

Sammel y Claus (2003, 2006) indicaron que el citrato sódico provocaba una disminución del color rosa (disminución en el índice a^*) formado en reestructurados de carne picada de pavo cuando se añadían nitritos. Sin embargo, este efecto no se ha descrito en la elaboración de productos cárnicos en los que los músculos permanecían enteros. En este sentido, estos autores afirmaron que para que el citrato sódico participara en procesos oxidativos y pudiera reducir el color rosa formado en la carne de pavo cuando se añaden nitritos, era necesaria la presencia de oxígeno. Por otro lado, observaron que cuando se empleaba otro antioxidante como el eritorbato sódico (274 mg/kg), que secuestra el oxígeno y es un fuerte agente reductor, se inhibía el efecto del citrato sódico en el color. En este sentido, el haber elaborado el jamón cocido a partir de músculos enteros junto con la utilización de ascorbato sódico, que es un antioxidante de características similares al eritorbato sódico, podrían ser la causa de no haber encontrado efecto del citrato sódico en el color.

En lo referente a los distintos tratamientos, la aplicación de APH no ejerció ningún efecto en el color del jamón cocido elaborado sin la etapa de masajeado (Tratamiento SM-APH). Tampoco se obtuvieron cambios en L^* y a^* en el jamón cocido tratado con APH y elaborado con una etapa de masajeado (Tratamiento M-

APH). Sin embargo, en estos jamones, tanto en el elaborado con citratos como en el elaborado sin citratos ni fosfatos, se observó un menor índice b^* ($p < 0,05$) en comparación con el jamón cocido no tratados con APH (Tratamiento CO).

Crehan y col. (2000) no observaron cambios en el color (L^* , a^* , b^*) de salchichas cocidas elaboradas a partir de carne que había sido sometida a un tratamiento de altas presiones (150 y 300 MPa, 5 min, 15-20°C). Por el contrario, en los estudios preliminares a la realización de esta Tesis Doctoral (Sánchez y col., 2010) se observaron cambios en el color del jamón cocido cuando se aplicaba un tratamiento de APH (200-300 MPa, 10 min, 15-20°C) en la carne, lo que se atribuyó a una menor concentración de nitrito sódico debido a una menor retención de salmuera como consecuencia de cambios estructurales producidos por la presión.

Diversos autores (Carlez y col., 1995; Marcos y col., 2010; Souza y col., 2011) han señalado que la aplicación de altas presiones en la carne puede inducir cambios en el color de la misma. Marcos y col. (2010) estudiaron el efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de APH (200-600 MPa, 20 min, 10-30°C), indicando que la aplicación de 400-600 MPa a 30°C producía mayores cambios en el color. Estos autores indicaron que los cambios en L^* podrían ser debido a dos causas: (1) a la coagulación proteica, que podría afectar a la estructura de la carne y a las propiedades de su superficie y, en consecuencia, cambiar el porcentaje de luz absorbida frente a la reflejada, provocando una aclaración del color (Goutefongea y col., 1995), o (2) a la desnaturalización de la globina y al desplazamiento o liberación del grupo hemo (Carlez y col., 1995). Respecto al índice a^* , Marcos y col. (2010) observaron que las muestras tratadas a 600 MPa presentaron un menor valor de a^* que las muestras tratadas a 400 MPa, que atribuyeron a que las altas presiones inducen la oxidación de la mioglobina ferrosa a metamioglobina férrica, lo que provoca una decoloración marrón (Carlez y col., 1995).

Por otro lado, se ha observado que en los productos cárnicos en los que se utiliza nitrito sódico, la resistencia que el pigmento nitrosilmioglobina o el pigmento nitrosilhemocromo presenta a la oxidación, estabiliza el color del producto frente a las APH (Cheftel y Culioli, 1997). Además, en los productos crudo-curados y en los productos cocidos, la estabilidad en el color cuando se aplica APH es también más elevada debido a que las proteínas ya han sufrido un

proceso de desnaturalización, bien durante el proceso de secado-maduración al que se someten o durante la cocción (Rovere, 2001). Así, Pietrzak y col. (2007) y Vercammen y col. (2011) no observaron cambios en el color cuando aplicaron un tratamiento de 600 MPa (10 min, 10-20°C) en jamón cocido. Sin embargo Mor-Mur y Yuste (2003) indicaron cambios en el color cuando en las salchichas cocidas se aplicaba un tratamiento de 500 MPa (10 y 15 min, 65°C). En productos curados, Rubio y col. (2007a, b) tampoco obtuvieron cambios en el color cuando aplicaron altas presiones (500 MPa, 5 min, 18°C) en cecina y salchichón. Por el contrario, Cava y col. (2009) indicaron que la aplicación de APH (200-300 MPa, 15-30 min, 14°C) en jamón y lomo curado implicaba la obtención de un descenso del valor a^* .

Por tanto, el efecto de las APH en el color depende tanto del estado o forma química en el que se encuentren los pigmentos responsables del color y de la estructura del producto en el que se aplique como de la presión, la temperatura y la longitud del ciclo utilizado (Flick, 2009). Por ello, en este ensayo, a la hora de interpretar los resultados obtenidos en el color es preciso tener en cuenta que el tratamiento de APH no se aplicó ni en carne fresca ni en el producto ya elaborado, sino antes de la cocción, en una carne que había sido ya inyectada y por tanto, contenía nitritos y antioxidantes, y que el tratamiento aplicado fue de 200 MPa durante 10 min, a 15°C. En función de estas premisas es lógico que el tratamiento de altas presiones no implicara cambios en L^* y a^* , tanto por la presencia de antioxidantes y del pigmento nitrosilmioglobina como por la intensidad del tratamiento aplicado. Respecto a b^* , teniendo en cuenta que la elaboración de las muestras no tratadas (Formulaciones C y SFC del Tratamiento CO) se realizó con la inclusión de una etapa de masajeado, el hecho de que la aplicación de APH solo implicara diferencias ($p < 0,05$) cuando los pernils además de inyectados fueron masajeados podría indicar un efecto sinérgico del masajeado y el tratamiento con altas presiones. Dado que en general el tratamiento con presión antes de la cocción aumenta la gelificación térmica de las proteínas (Jimenez-Colmenero, 2005), la disminución de b^* podría ser atribuida a dicha gelificación.

El parámetro b^* se refiere al espectro de color amarillo – azul, de modo que los valores positivos convierten al color en más amarillo y por el contrario, los valores negativos, en más azul. Sin embargo, para conocer el efecto real de las variaciones de b^* en el color del producto es necesario tener en cuenta su relación con L^* . Para ello, se puede calcular el índice de amarillo (IA), que indica el grado en que la

6. Resultados y Discusión

muestra es diferente del blanco ideal en el sentido del amarillo. En nuestro estudio, los valores obtenidos para este índice, calculado a partir de b^* y L^* , de acuerdo con Francis y Clydesdale (1975), fueron de 16,8-17,3 en el Tratamiento CO y de 12,0-13,9 en el Tratamiento M-APH. La disminución de este índice pone de manifiesto que el Tratamiento M-APH dio lugar a un producto con un color más claro. De modo similar, Bozkurt y Bayram (2006) observaron que durante el periodo de maduración de embutidos turcos, este índice disminuía dando lugar a un producto más claro. Estos autores lo atribuyeron a la gelación de las proteínas y a la difusión de agua hacia la superficie.

6.2.2.4. Efecto en la textura (TPA)

Los resultados obtenidos en la medida instrumental de la textura (TPA) están incluidos en la Tabla 43.

Tabla 43. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en la textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.

	Formulación	Tratamiento CO	Tratamiento M-APH	Tratamiento SM-APH
Dureza (N)	F	^A 51,4 \pm 3,4 _a	---	---
	C	^{AB} 65,1 \pm 14,8 _a	^A 76,5 \pm 1,7 _a	^A 79,1 \pm 2,1 _a
	SFC	^B 73,7 \pm 14,8 _a	^A 56,2 \pm 21,1 _a	^A 58,4 \pm 14,4 _a
Cohesividad	F	^A 0,5 \pm 0,0 _a	---	---
	C	^A 0,6 \pm 0,0 _a	^A 0,6 \pm 0,0 _a	^A 0,5 \pm 0,0 _a
	SFC	^A 0,5 \pm 0,1 _a	^A 0,6 \pm 0,1 _a	^A 0,6 \pm 0,0 _a
Elasticidad (mm)	F	^B 0,8 \pm 0,1 _a	---	---
	C	^{AB} 0,6 \pm 0,2 _a	^A 0,7 \pm 0,0 _a	^A 0,6 \pm 0,1 _a
	SFC	^A 0,6 \pm 0,1 _a	^A 0,7 \pm 0,1 _a	^A 0,6 \pm 0,1 _a
Masticabilidad (N \times mm)	F	^A 20,7 \pm 2,4 _a	---	---
	C	^A 23,7 \pm 7,1 _a	^A 25,4 \pm 0,5 _a	^A 26,5 \pm 2,6 _a
	SFC	^A 25,5 \pm 10,5 _a	^A 26,4 \pm 1,4 _a	^A 21,2 \pm 7,8 _a

^{A, B} Medias con diferentes superíndice en la misma columna indican diferencias entre formulaciones ($p < 0,05$).

_a Medias con diferentes subíndices en la misma fila indican diferencias entre los distintos tratamientos ($p < 0,05$).

En relación al efecto de la utilización de las diferentes formulaciones (Tratamiento CO), no se detectó ningún efecto ($p > 0,05$) en la **cohesividad** y la

masticabilidad del jamón cocido. En cuanto al resto de parámetros evaluados, el jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos presentó mayor **dureza** ($p < 0,05$) y menor **elasticidad** ($p < 0,05$) que el elaborado con fosfatos, coincidiendo estos resultados con los obtenidos en el Ensayo 1.2. La textura del jamón cocido elaborado con citratos no se diferenció ($p > 0,05$) de la obtenida en los otros dos lotes.

En la bibliografía revisada solo se ha encontrado un estudio en el que se evalúa el efecto de la inclusión de citrato sódico en la textura evaluada de forma instrumental. Nowak y col. (2007) evaluaron el efecto de la sustitución de los fosfatos (3.000 mg/kg) por citratos (3.000 mg/kg) en salchichas cocidas elaboradas con inulina como sustituto de grasa, no encontrando diferencias en la dureza entre los productos elaborados.

En relación al tratamiento con APH, no se detectó efecto alguno ($p > 0,05$) de su aplicación en la textura de los jamones elaborados con o sin masajeado en los Lotes C y SFC (Tabla 43).

En general, el tratamiento con altas presiones se ha utilizado para tenderizar la carne ya que puede provocar cambios, reversibles o irreversibles, en la textura debido a las modificaciones que tienen lugar en las proteínas tras su aplicación (Cheftel y Culioli, 1997). No obstante, es preciso indicar que las APH pueden provocar o no cambios en la textura, dependiendo de la matriz (carne fresca o producto elaborado), de la etapa de elaboración en que se aplique (Sánchez y col., 2010), de la presencia de otros compuestos como el cloruro sódico (Hong y col., 2008) y de las condiciones del tratamiento (presión, temperatura y tiempo) (Ma y Ledward, 2004; Zamri y col., 2006; Villacís y col., 2008; Kru y col., 2011).

Diversos autores (Ma y Ledward, 2004; Zamri y col., 2006; Villacís y col., 2008; Kruk y col., 2011) en carne fresca y en preparados de carne que incluían cloruro sódico observaron que a medida que se incrementa la presión de 200 a 400 MPa, a temperaturas desde 20-25°C hasta 60°C y tiempos de 1 a 20 minutos, tenía lugar un aumento de la dureza. Sin embargo, a estas presiones, cuando el tratamiento se realizó a temperaturas de 60-70°C la dureza disminuyó, aunque este efecto fue más una consecuencia de la desnaturalización por el calor que se produce en las proteínas a esas temperaturas (Zamri y col., 2006).

Cuando el tratamiento de APH se aplica a productos cárnicos ya elaborados (cocidos o curados), en los que la desnaturalización de las proteínas ya se ha producido, su efecto sobre la textura es distinto. En salchichas cocidas, Mor-Mur y Yuste (2003) observaron que cuando se aplicaba 500 MPa a 65°C, durante 5 minutos, se obtenían salchichas cocidas con una mayor cohesividad que las no tratadas, sin embargo, la elasticidad y la dureza eran similares. Estos autores indicaron que el calor y la presión no afectaban a la mayoría de las características del producto debido a que durante la etapa de cocción tenía lugar la gelación de las proteínas. De modo similar, en productos cárnicos curados, Rubio y col. (2007a) observaron que la aplicación de 500 MPa, a 18°C durante 4 min, no afectaba a la textura (TPA).

Crehan y col. (2000) cuando aplicaron 150 MPa a 20°C durante 5 min en la carne no observaron cambios en la textura de salchichas cocidas. Sin embargo, cuando aumentaron la presión a 300 MPa obtuvieron una disminución de la dureza, de la elasticidad, de la cohesividad y de la masticabilidad en el producto final en comparación con el producto no tratado. También Souza y col. (2011), en jamón cocido reestructurado, observaron que cuando la carne se sometía a un tratamiento de 215 MPa (33°C durante 15 segundos) la dureza, la elasticidad, y la masticabilidad disminuían respecto al jamón cocido no tratado con APH. Cuando las APH se aplicaron en emulsiones elaboradas con diferentes concentraciones de cloruro sódico, Sikes y col. (2009) observaron que el efecto de la aplicación de 200 MPa (10°C durante 2 min) en la textura de salchichas cocidas disminuía cuando se utilizaban concentraciones de cloruro sódico próximas al 2%. En el presente ensayo, la utilización de una concentración similar de cloruro sódico podría ser la causa de no encontrar diferencias en la textura.

6.2.2.5. Loncheabilidad

En la Tabla 44 se incluyen los resultados obtenidos en la evaluación de la loncheabilidad de los diferentes lotes de jamón cocido elaborados en este estudio.

Respecto a las distintas formulaciones se puede observar que, en el Tratamiento CO, el jamón cocido elaborado con fosfatos presentó un 100% de loncheabilidad y que mediante el empleo de citrato sódico se mejoró un 55% la loncheabilidad del jamón cocido elaborado sin fosfatos. Es bien sabido el efecto positivo que los fosfatos ejercen en la ligazón muscular, contribuyendo a una mayor loncheabilidad.

Por otro lado, el citrato sódico, tal y como se ha indicado favorece la expansión de la estructura cuaternaria de las proteínas y facilita el establecimiento de nuevos enlaces, por lo que también favorecería la ligazón de los músculos.

Tabla 44. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en la loncheabilidad del jamón cocido elaborado sin fosfatos.

	Formulación	Tratamiento CO	Tratamiento M-APH	Tratamiento SM-APH
Loncheabilidad	F	100%	---	---
	C	85%	95%	60%
	SFC	30%	80%	40%

En relación al tratamiento con altas presiones, se observó que, cuando se realizaba masajeado, la aplicación de APH permitía aumentar un 10% la loncheabilidad del jamón cocido elaborado con citratos y un 50% la loncheabilidad del jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos. Cuando no se realizó la etapa de masajeado, el efecto de las APH fue diferente dependiendo de si se incluía citrato o no en la formulación. Así, en el jamón cocido elaborado con citratos la aplicación de APH supuso una disminución del 25% de la loncheabilidad, mientras que en el elaborado sin fosfatos ni citratos presentó un aumento del 10% de la loncheabilidad, respecto al jamón cocido no tratado con APH.

La loncheabilidad proporciona información sobre la ligazón del producto, que en el caso de los productos cárnicos elaborados a partir de diferentes músculos, se produce por la formación de un entramado proteico en forma de gel, que tiene lugar fundamentalmente durante el proceso de cocción. La gelación de las proteínas se puede producir también mediante la aplicación de presión (Barbosa-Cánovas y col., 1998) aunque el mecanismo por el que se produce es diferente al de la gelación por calor. Así, la aplicación de calor provoca un movimiento violento de las proteínas, que conduce a la destrucción de enlaces no covalentes, a que tengan lugar procesos de desnaturalización y a la formación de redes al azar; por el contrario, la gelación por presión es debida fundamentalmente a un descenso en el volumen de la solución proteica (Barbosa-Cánovas y col., 1998). Suzuki y Macfarlane (1984) y Chefel y Culioli (1997) indicaron que la gelación de las proteínas por APH depende de la utilización de otros compuestos, como es el

cloruro sódico. Además, se ha observado que este tipo de gelación depende de las proteínas (de la especie, del tipo de proteína, de su estructura), del pH, de la fuerza iónica, así como de las condiciones de aplicación del tratamiento (intensidad de presión, la duración del ciclo y la temperatura) (Colmenero, 2002).

Es preciso indicar que, en la bibliografía, no se han encontrado estudios en los que se haya investigado el efecto de la aplicación de APH y la realización o no de masajeado en la loncheabilidad de productos cárnicos. Sí se ha observado que cuando se aplican 200 MPa, a temperatura ambiente, la presión induce la gelación de la miosina, sin embargo, a 500 MPa no se produce esta gelación (Yamamoto y col., 1990, 1994). De modo similar, Macfarlane y col. (1984) observaron que mediante la aplicación de 150 MPa a 0-3°C y la realización posterior de un proceso de cocción a 70 °C durante 30 minutos, tenía lugar un incremento en la unión de carne de vacuno picada. En estudios posteriores (Macfarlane, 1985), estos autores indicaron que para que se produjera este efecto era necesaria la presencia de cloruro sódico.

Los resultados obtenidos en la loncheabilidad en el presente ensayo podrían ser el resultado de una posible gelación de las proteínas a consecuencia del tratamiento de APH aplicado (200 MPa). Posiblemente este efecto no fue tan evidente en el jamón cocido elaborado con citratos por el efecto positivo de este aditivo. Por otro lado, en el jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos es lógico que este efecto fuera mayor cuando se aplicó la etapa de masajeado ya que esta etapa favorece una mayor difusión de los ingredientes de la salmuera, como es el cloruro sódico. Estos resultados corroborarían el efecto sinérgico del masajeado y el tratamiento con altas presiones indicado anteriormente.

6.2.2.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

En las Tablas 45 y 46 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de los diferentes lotes de jamón cocido elaborado, realizada con un panel de catadores entrenados. En la Figura 43 se muestra el aspecto visual del jamón cocido de los diferentes lotes.



Figura 43. Aspecto visual del jamón cocido loncheado de la Form. C (3.000 mg/kg citratos) y de la Form. SFC (sin fosfatos ni citratos) sometidos a los Tratamientos CO (con masajeado y sin APH), M-APH (con masajeado y APH) y SM-APH (sin masajeado y con APH).

6. Resultados y Discusión

Tabla 45. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en el aspecto visual, el olor y flavor evaluados sensorialmente (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.

	Formulación	Tratamiento CO	Tratamiento M-APH	Tratamiento SM-APH	
<i>Aspecto visual</i>	Homogeneidad de color	F	^A 3,6 \pm 0,1 _a	---	---
		C	^A 2,9 \pm 0,6 _a	^A 4,3 \pm 0,4 _a	^B 3,5 \pm 0,6 _a
		SFC	^A 2,2 \pm 0,9 _{ab}	^A 3,4 \pm 1,0 _b	^A 1,8 \pm 0,6 _a
	Intensidad de color	F	^A 3,1 \pm 0,2 _a	---	---
		C	^A 3,4 \pm 0,5 _a	^A 3,4 \pm 0,1 _a	^A 3,5 \pm 0,3 _a
		SFC	^A 2,6 \pm 0,6 _a	^A 4,0 \pm 0,4 _b	^A 2,6 \pm 0,6 _a
	Ligazón	F	^B 3,1 \pm 0,8 _a	---	---
		C	^B 4,0 \pm 0,4 _b	^A 3,8 \pm 0,1 _b	^A 3,1 \pm 0,1 _a
		SFC	^A 1,5 \pm 0,5 _a	^A 3,7 \pm 0,3 _c	^A 2,7 \pm 0,4 _b
<i>Olor y flavor</i>	Intensidad de olor	F	^A 3,4 \pm 0,1 _a	---	---
		C	^A 3,4 \pm 0,2 _a	^A 3,9 \pm 0,3 _a	^A 3,6 \pm 0,1 _a
		SFC	^A 3,9 \pm 0,5 _b	^A 4,3 \pm 0,3 _b	^A 2,8 \pm 0,6 _a
	Calidad de olor	F	^A 4,4 \pm 0,0 _a	---	---
		C	^A 4,0 \pm 0,5 _a	^A 4,3 \pm 0,1 _a	^A 3,9 \pm 0,2 _a
		SFC	^A 3,5 \pm 1,3 _a	^A 4,1 \pm 0,3 _a	^A 3,0 \pm 0,6 _a
	Intensidad de flavor	F	^A 3,8 \pm 0,3 _a	---	---
		C	^A 3,5 \pm 0,3 _a	^A 4,0 \pm 0,0 _a	^A 3,6 \pm 0,1 _a
		SFC	^A 3,8 \pm 0,9 _a	^A 4,3 \pm 0,4 _a	^A 3,9 \pm 0,5 _a
	Calidad de flavor	F	^A 5,0 \pm 0,0 _a	---	---
		C	^A 3,8 \pm 0,2 _a	^A 4,4 \pm 0,1 _a	^A 4,0 \pm 0,6 _a
		SFC	^A 3,8 \pm 1,2 _a	^A 4,3 \pm 0,4 _a	^A 3,9 \pm 0,4 _a

¹ Valoración en una escala de 5 puntos, donde 1-mínima intensidad y 5- máxima intensidad.

^{A, B} Medias con diferentes superíndice en la misma columna indican diferencias entre formulaciones ($p < 0,05$).

^{a, b} Medias con diferentes subíndice en la misma fila para cada parámetro indican diferencias entre tratamientos ($p < 0,05$).

En el **aspecto visual**, respecto a las distintas formulaciones, se encontraron diferencias en la homogeneidad del color del jamón cocido elaborado con y sin citratos del Tratamiento SM-APH y en la ligazón del jamón cocido elaborado con fosfatos o citratos y el jamón cocido elaborado sin estos aditivos (Tratamiento CO). En la **homogeneidad del color**, la no realización del masajeado (Tratamiento SM-APH) pudo implicar una peor difusión de la salmuera entre los diferentes músculos del pernil, que junto a la no utilización de citratos ni fosfatos, que influyen en el

color, pudieron hacer que el jamón elaborado sin fosfatos ni citratos presentara menores puntuaciones en este parámetro. En relación a la **ligazón**, en el jamón cocido no tratado con APH (Tratamiento CO), la utilización de citrato sódico permitió obtener un jamón cocido con una ligazón similar a la del jamón cocido elaborado con fosfatos y muy superior a la del jamón elaborado sin fosfatos ni citratos ($p < 0,05$). Sin embargo, este efecto del citrato en la ligazón no se observó cuando se aplicaron APH.

En cuanto a las diferencias entre tratamientos, el efecto de la aplicación de APH en el aspecto visual fue mucho más evidente en el jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos. Así, la realización de una etapa de masajeado junto con la aplicación de APH permitió obtener una mayor intensidad del color ($p < 0,05$) y una mayor ligazón ($p < 0,05$) en el jamón cocido elaborados sin fosfatos ni citratos. La aplicación de APH y la realización de masajeado podrían haber actuado de manera sinérgica y haber provocado un incremento en la intensidad del color. No obstante, es preciso recordar que en la evaluación instrumental del color no se detectaron diferencias ni en la luminosidad ni en el índice de a^* . Como se ha indicado en ensayos anteriores, estas diferencias podrían ser debidas a diferencias en las muestras utilizadas en la evaluación del color instrumental y las utilizadas con el panel de catadores. En cuanto a la ligazón, los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Fulladosa y col. (2009), quienes también observaron una mejoría en la unión de los músculos en jamón curado reestructurado con la aplicación de 600 MPa a 10°C durante 9 min. Los resultados obtenidos en la ligazón confirman también el efecto sinérgico observado en la loncheabilidad, entre la realización del masajeado y la aplicación de APH. Por otro lado, el hecho de que en el jamón cocido elaborado con citratos, la aplicación de APH solo implicara diferencias en la ligazón ($p < 0,05$) cuando no se realizó masajeado, indicaría que el efecto del masajeado fue mayor que el de la aplicación de APH.

En el **olor** y el **flavor** del jamón cocido la inclusión de citrato sódico en la formulación no implicó efecto alguno en los parámetros evaluados ($p > 0,05$). Stephens y col. (2006) observaron que mediante el empleo de citrato sódico tenía lugar un aumento en la intensidad del flavor en un preparado de carne de cerdo. También, Ruusunen y col. (2003b) en salchichas cocidas indicaron un aumento en la intensidad de flavor que atribuyeron a una mayor percepción del sabor salado, debido a un incremento de iones de sodio en el producto, por el aporte del citrato.

Por otro lado, la utilización de diferentes tratamientos solo implicó diferencias en la **intensidad del olor** del jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos, que fue menor ($p < 0,05$) en el jamón elaborado sin masajeado junto con la aplicación de APH. La no realización del masajeado probablemente provocó una menor difusión de la salmuera en el interior del pernil, lo que ocasionó cambios en este parámetro. Respecto al flavor, al igual que los resultados obtenidos en este ensayo, Crehan y col. (2000) tampoco observaron cambios en este parámetro en salchichas cocidas cuando aplicaron APH (150 y 300 MPa, 5 min, 15-20°C). La aplicación de APH no afecta a los compuestos responsables del olor y flavor, ya que la presión sólo actúa sobre los enlaces no covalentes, que mantienen la estructura tridimensional de las proteínas y de las enzimas (Purroy y col., 2009).

Los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros relacionados con la textura y la aceptabilidad global se muestran en la Tabla 46.

Respecto a las diferentes formulaciones, la inclusión de citrato sódico permitió la obtención de jamón cocido de **textura** similar a la del elaborado con fosfatos. Además, se observó que con la utilización de fosfatos se obtenía jamón cocido con una menor fibrosidad ($p < 0,05$) que la del elaborado sin fosfatos ni citratos (Tratamiento CO). Estos resultados coinciden con los obtenidos en el Ensayo 1.2 de esta Tesis, donde también se observó que con el empleo de fosfatos los jamones presentaban una menor **fibrosidad**. Por otro lado, y a diferencia de los resultados obtenidos en la evaluación instrumental de la dureza de los jamones del Tratamiento CO, no se detectaron diferencias en este parámetro entre el jamón elaborado con fosfatos y el elaborado sin fosfatos ni citratos, mediante su evaluación sensorial. La utilización de muestras con diferente grosor para la realización de cada análisis explicaría dichos resultados.

A pesar que en este ensayo no se ha observado ningún efecto del empleo de citrato sódico en los parámetros relacionados con la textura, Ruusunen y col. (2003b) indicaron que cuando se empleaba citrato sódico junto con una baja concentración de cloruro sódico (1,1%) en la elaboración de salchichas cocidas, éstas presentaban una mayor jugosidad. Sin embargo, estos autores no observaron diferencias en este parámetro cuando junto con el empleo de citrato sódico usaron una concentración superior de cloruro sódico (1,6%). En este sentido, indicar que en el presente ensayo se utilizó una concentración de cloruro sódico cercana a la

empleada por Ruusunen y col. (2003b) cuando no detectaron diferencias en la jugosidad al utilizar citrato sódico.

Tabla 46. Efecto de la utilización de citrato sódico y/o de la aplicación de APH en los parámetros de textura evaluados sensorialmente y en la aceptabilidad global (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado sin fosfatos.

	Formulación	Tratamiento CO	Tratamiento M-APH	Tratamiento SM-APH	
¹ Textura	Dureza	F	^A 2,0 \pm 0,4 _a	---	---
		C	^A 2,3 \pm 0,0 _a	^A 2,5 \pm 0,4 _a	^A 2,5 \pm 0,3 _a
		SFC	^A 2,1 \pm 0,5 _a	^A 2,1 \pm 0,4 _a	^A 2,1 \pm 0,4 _a
	Jugosidad	F	^A 3,3 \pm 0,1 _a	---	---
		C	^A 3,2 \pm 0,2 _a	^A 3,7 \pm 0,2 _a	^A 3,0 \pm 0,5 _a
		SFC	^A 2,7 \pm 1,0 _{ab}	^A 3,8 \pm 0,2 _b	^A 1,9 \pm 0,9 _a
	Fibrosidad	F	^A 1,7 \pm 0,2 _a	---	---
		C	^{AB} 2,0 \pm 0,4 _a	^A 2,3 \pm 0,5 _a	^A 2,8 \pm 0,1 _a
		SFC	^B 2,6 \pm 0,3 _b	^A 1,7 \pm 0,6 _a	^A 2,0 \pm 0,4 _{ab}
	Masticabilidad	F	^A 1,9 \pm 0,3 _a	---	---
		C	^A 2,3 \pm 0,0 _a	^A 2,6 \pm 0,4 _a	^A 2,7 \pm 0,0 _a
		SFC	^A 2,0 \pm 0,3 _a	^A 2,2 \pm 0,6 _a	^A 2,1 \pm 0,5 _a
² ACEPTABILIDAD GLOBAL	F	^B 4,2 \pm 0,1 _a	---	---	
	C	^B 4,0 \pm 0,1 _a	^B 4,3 \pm 0,0 _a	^B 3,8 \pm 0,4 _a	
	SFC	^A 2,7 \pm 0,6 _a	^A 3,2 \pm 0,2 _a	^A 2,4 \pm 0,5 _a	

¹ Valoración en una escala de 5 puntos, donde 1-mínima intensidad y 5- máxima intensidad.

² Valoración en una escala donde 5-excelente, 4-bueno, 3-aceptable, 2-malo y 1-inaceptable.

^{A, B} Medias con diferentes superíndice en la misma columna indican diferencias entre formulaciones ($p < 0,05$).

^{a, b} Medias con diferentes subíndice en la misma fila para cada parámetro indican diferencias entre tratamientos ($p < 0,05$).

En relación a los distintos tratamientos (Tabla 46), se observó que cuando se aplicaban APH, la no inclusión de una etapa de masajeado (Tratamiento SM-APH) implicaba que el jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos presentara una menor ($p < 0,05$) **jugosidad**. Por otro lado, la aplicación de APH sólo ejerció efecto en la **fibrosidad** ($p < 0,05$) del jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos cuando se aplicó junto con la realización del masajeado (Tratamiento M-APH), lo que supuso una mejora de la fibrosidad en comparación con el no tratado.

6. Resultados y Discusión

Crehan y col. (2000), Kruk y col. (2011) y Fulladosa y col. (2009) observaron diversos cambios en diferentes productos cárnicos tratados con APH en la textura evaluada con un panel de catadores. Crehan y col. (2000) observaron que con la aplicación de APH (150 y 300 MPa, 5 min, 15-20°C) en salchichas cocidas elaboradas con 1,5-2,5% de cloruro sódico se obtenía una mayor jugosidad en el producto final respecto a las salchichas no tratadas. Por otro lado, Kruk y col. (2011) indicaron que a medida que se incrementaba la presión (300, 450 y 600 MPa, 5 min, 20-25°C), en pechuga de pollo, ésta presentaba una menor jugosidad, no observando sin embargo, cambios en otros parámetros de la textura. Fulladosa y col. (2009) observaron un aumento en la dureza y en la fibrosidad en jamón curado reestructurado después del tratamiento con altas presiones (600 MPa, 9 min, 10°C). Estos autores atribuyeron estas modificaciones en la textura a la agregación de moléculas de miosina, que comienzan a desnaturalizarse a presiones de 100 MPa, y al intercambio de grupos disulfuro sulfhidrilo debido a la aplicación de APH. A diferencia de los autores anteriores, Rubio y col. (2007a, 2007b), en productos cárnicos crudo curados no observaron efecto de la aplicación de APH (500 MPa, 5 min, 20°C) en la evaluación con un panel de catadores de parámetros relacionados con la textura.

En base a los estudios anteriores, la aplicación de APH puede provocar o no cambios en la textura. Tal y como se indicó en la evaluación instrumental de la textura existen múltiples factores de los que dependen que la APH ejerza o no estos cambios, lo que explicaría los resultados tan diferentes obtenidos en los diferentes estudios anteriores.

Finalmente, el jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos presentó la menor **aceptabilidad global** ($p < 0,05$) en todos los tratamientos realizados. El jamón cocido elaborado con citratos presentó una aceptabilidad similar ($p > 0,05$) a la del elaborado con fosfatos, siendo valorada por los catadores como buena (puntuación 4). Por último, indicar que el tratamiento aplicado no afectó la aceptabilidad global ($p > 0,05$) del jamon cocido elaborado con citratos o sin fosfatos ni citratos.

6.2.2.7. Resumen

De los factores evaluados (uso de citratos y/o aplicación de APH con/sin masajeado), sólo la combinación citrato sódico y APH permitió obtener un rendimiento mayor en la elaboración de jamón cocido sin fosfatos. En cuanto los parámetros sensoriales evaluados de forma instrumental, el uso de citrato no modificó ni la textura ni el color del jamón cocido. En relación al tratamiento con APH, su aplicación no afectó a la textura del jamón cocido elaborado con o sin masajeado. Sin embargo, en el color la aplicación de APH tras el masajeado del jamón cocido elaborado con citratos o sin fosfatos ni citratos implicó un menor valor de b^* que pudo ser debido a un ligero incremento de la gelificación por la presión. Esta mayor gelificación se confirmó en la evaluación de la loncheabilidad, en la que se pudo observar que cuando se realizaba masajeado, la aplicación de APH permitía aumentar en un 10% la loncheabilidad del jamón cocido elaborado con citratos y en un 50% la loncheabilidad del jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos. También el uso de citratos sin la aplicación de APH mejoró en un 55% la loncheabilidad del jamón cocido elaborado sin fosfatos. Los resultados obtenidos en la evaluación realizada con un panel de catadores indicaron que el uso de citrato permitía obtener un producto de características similares al elaborado con fosfatos. La aplicación de APH solo permitió mejorar la intensidad de color, la ligazón y la fibrosidad del jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos y con masajeado, sin embargo, estos cambios no implicaron una mejora de su aceptabilidad. El jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos presentó la menor aceptabilidad global mientras que el jamón cocido elaborado con citratos presentó una aceptabilidad similar (buena) a la del elaborado con fosfatos.

A la vista de estos resultados se puede concluir que el uso de citratos permite obtener un producto con características sensoriales similares a las del producto elaborado con fosfatos, aunque con un menor rendimiento. En cuanto a la aplicación de APH, los resultados obtenidos indican que las ventajas obtenidas tras su aplicación no justifican su empleo, dado el elevado coste de este tratamiento.

6.2.3. Ensayo 2.3. Eliminación de fosfatos y nitritos

En este ensayo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los Ensayos 2.1 y 2.2, y con objeto de obtener un producto que pudiera ser calificado como ecológico, se evaluó el uso conjunto de extractos vegetales y citrato sódico. Para ello, se elaboraron 3 lotes de jamón cocido: Lote NF, con nitrito sódico (80 mg/kg pernil) y con fosfatos (1.000 mg/kg pernil), Lote VF con extractos vegetales (Ext-A 2.200 mg/kg pernil) y fosfatos (1.000 mg/kg pernil) y Lote VC con extractos vegetales (Ext-A 2.200 mg/kg pernil) y citrato sódico (3.000 mg/kg pernil).

En cada lote se determinaron el rendimiento, el pH, la a_w , la humedad, el AR, el contenido en cloruro sódico, nitratos, nitritos, fosfatos, el color (L^* , a^* y b^*) y la textura (TPA) del jamón cocido. Finalmente, se valoraron las características sensoriales de los diferentes lotes de jamón cocido con un panel de catadores entrenados mediante la realización de un perfil descriptivo.

6.2.3.1. Efecto en el rendimiento y en el pH

En la Tabla 47 se pueden observar los resultados obtenidos en la evaluación del rendimiento y del pH en el jamón cocido elaborado en este estudio.

Tabla 47. Rendimiento y pH (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.

	Lote*		
	Lote NF	Lote VF	Lote VC
Rendimiento (%)	^B 110,3 \pm 3,3	^B 111,6 \pm 2,3	^A 95,7 \pm 0,2
pH	^A 6,2 \pm 0,1	^A 6,1 \pm 0,1	^A 6,1 \pm 0,0

* NF: 80 mg/kg nitritos, 1.000 mg/kg fosfatos; VF: 2.200 mg/kg Ext-A, 1.000 mg/kg fosfatos; VC: 2.200 mg/kg Ext-A, 3.000 mg/kg citrato sódico.

^{A, B} Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

En relación al **rendimiento**, el jamón cocido elaborado con extractos vegetales y con citratos (Lote VC) presentó un valor menor ($p < 0,05$) en comparación con los lotes elaborados con fosfatos (Lotes NF y VF). Además, se obtuvo una correlación positiva entre el rendimiento y la cantidad de fosfatos ($r = 0,91$, $p < 0,05$). Estos resultados coinciden con los obtenidos en los Ensayos 1.2 y 2.2, donde se observó que la no inclusión de fosfatos en la elaboración de jamón cocido implicaba la obtención de un menor rendimiento, y que la utilización de citrato sódico no

permitía mejorar este parámetro. En relación al uso de vegetales, al igual que en el Ensayo 2.1, no se observó ningún efecto de la utilización de extractos vegetales en el rendimiento.

En el **pH** no se encontraron diferencias ($p>0,05$) entre ninguno de los lotes elaborados, lo que es lógico si se tiene en cuenta que tanto los fosfatos como los citratos incrementan el pH de los productos cárnicos y actúan como tamponantes (Elvira, 2001). Asimismo, estos resultados son similares a los obtenidos en los ensayos anteriores, donde tampoco se encontró efecto ni del empleo del citrato sódico (Ensayo 2.2) ni del empleo de extractos vegetales (Ensayo 2.1) en el pH.

6.2.3.2. Efecto en la humedad, a_w y AR

En la Tabla 48 se incluyen los resultados obtenidos en la humedad, la a_w y el AR de los diferentes lotes de jamón cocido.

Tabla 48. Humedad, a_w y AR (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.

	Lote*		
	Lote NF	Lote VF	Lote VC
a_w	^A 0,977 \pm 0,001	^A 0,976 \pm 0,001	^A 0,978 \pm 0,001
Humedad (%)	^B 75,5 \pm 1,1	^{AB} 72,7 \pm 1,2	^A 70,6 \pm 1,8
AR (%)	^B 89,8 \pm 0,4	^{AB} 88,8 \pm 0,4	^A 88,1 \pm 0,3

* NF: 80 mg/kg nitritos, 1.000 mg/kg fosfatos; VF: 2.200 mg/kg Ext-A, 1.000 mg/kg fosfatos; VC: 2.200 mg/kg Ext-A, 3.000 mg/kg citrato sódico.

^{A, B} Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p<0,05$).

En la a_w no se observaron diferencias ($p>0,05$) entre lotes. Sin embargo, en el Ensayo 1.2 se observó que la reducción del uso de fosfatos de 1.000 a 0 mg/kg implicaba un aumento de este parámetro ($p<0,05$), lo que se atribuyó al menor contenido de solutos en las salmueras elaboradas con un menor contenido en fosfatos. En el presente ensayo, la inclusión de vegetales, que implicó un mayor contenido en solutos en la salmuera como puede observarse en la Tabla 15 (Material y Métodos), junto con las diferencias observadas en el rendimiento podrían explicar que no se detectaran diferencias en la a_w .

Por el contrario, en la **humedad** y en el **AR**, el jamón cocido del Lote VC presentó menores valores en comparación con el del Lote NF ($p<0,05$). El que el

6. Resultados y Discusión

jamón cocido elaborado con citrato sódico presentara menor rendimiento ($p<0,05$) que el elaborado con fosfatos podría justificar las diferencias encontradas en el porcentaje de humedad y en el AR. De hecho, se encontraron correlaciones positivas entre el rendimiento y la humedad ($r=0,89$, $p<0,05$) y entre el rendimiento y el AR ($r=0,92$, $p<0,05$), lo que soporta los resultados obtenidos.

6.2.3.3. Efecto en el contenido en cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos

La Tabla 49 muestra los resultados obtenidos en el contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos del jamón cocido elaborado en este estudio.

Tabla 49. Contenido de cloruro sódico, nitratos, nitritos y fosfatos (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.

	Lote*		
	Lote NF	Lote VF	Lote VC
Cloruro sódico (%)	^B 2,4 \pm 0,1	^A 1,9 \pm 0,0	^A 1,7 \pm 0,3
Nitratos (mg/kg)	<20	^A 27,0 \pm 4,2	^A 22,5 \pm 2,1
Nitritos (mg/kg)	<10	^A 24,7 \pm 5,0	^A 30,1 \pm 2,1
Fosfatos (mg/kg)	^B 4.570 \pm 127	^B 4.578 \pm 49	^A 3.853 \pm 94

*NF: 80 mg/kg nitritos, 1.000 mg/kg fosfatos; VF: 2.200 mg/kg Ext-A, 1.000 mg/kg fosfatos; VC: 2.200 mg/kg Ext-A, 3.000 mg/kg citrato sódico.

^{A, B} Medias con diferentes superíndice en la misma fila indican diferencias ($p<0,05$).

Los lotes de jamón cocido elaborados con vegetales (Lote VF y VC) presentaron el menor contenido de **cloruro sódico** ($p<0,05$) y el mayor contenido en **nitratos** y **nitritos**, en comparación con el lote elaborado con nitritos (Lote NF). Estos resultados coinciden con los obtenidos en el Ensayo 2.1 y son una consecuencia de la inclusión de extractos vegetales en la elaboración de este producto. El uso de extractos vegetales implicó una menor retención de salmuera y la incorporación al producto de nitratos (66 mg/kg pernil) que fueron transformados en nitritos. Por otro lado, la utilización de citrato sódico no influyó en el contenido final de estos aditivos en el jamón cocido. Por último, en el contenido de **fosfatos**, tal y como era esperado, el jamón cocido del Lote VC, elaborado sin fosfatos, presentó el menor contenido ($p<0,05$) de este aditivo.

6.2.3.4. Efecto en el color (L^* , a^* y b^*)

En la Tabla 50 se pueden observar los valores obtenidos en la evaluación instrumental del color.

Tabla 50. Color (L^* , a^* , b^*) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.

	Lote*		
	Lote NF	Lote VF	Lote VC
L^*	^A 60,9 \pm 1,3	^A 61,3 \pm 3,3	^A 56,2 \pm 0,1
a^*	^A 8,7 \pm 0,8	^A 8,8 \pm 0,7	^A 10,4 \pm 0,5
b^*	^A 7,6 \pm 0,7	^A 8,7 \pm 0,5	^B 9,9 \pm 0,2

*NF: 80 mg/kg nitritos, 1.000 mg/kg fosfatos; VF: 2.200 mg/kg Ext-A, 1.000 mg/kg fosfatos; VC: 2.200 mg/kg Ext-A, 3.000 mg/kg citrato sódico.

^{A, B} Medias con diferentes superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

En L^* y a^* se observó que el empleo de citrato sódico o de extractos vegetales no daba lugar a cambios en estos parámetros. Teniendo en cuenta que en todos los lotes de jamón cocido se incluyeron nitritos, de manera directa (Lote NF) o indirecta (Lote VF y Lote VC), y que la cantidad mínima de este aditivo para el desarrollo del color es de 25-50 mg/kg (Ordóñez y col., 1998), los resultados obtenidos podrían considerarse lógicos. En el Ensayo 2.1 tampoco se observó ningún efecto de la utilización de extractos vegetales en el color, coincidiendo con los resultados obtenidos en este estudio.

Sin embargo, en el índice b^* , el jamón cocido elaborado con citrato sódico (Lote VC) presentó un mayor valor de b^* ($p < 0,05$) que el elaborado con fosfatos (Lotes NF y VF). El mecanismo por el cual el citrato reduce o previene los defectos del color en los productos cárnicos cocidos no es claro. Sammel y col. (2006), en pechuga de pavo cocida, no pudieron demostrar la capacidad del citrato sódico para formar complejos con el hierro, mientras que en el caso de los fosfatos indicaron que su efecto en el color era debido a su acción quelante con el hierro. Por tanto, las diferencias en el mecanismo de acción de estos dos antioxidantes podrían ser las responsables de los resultados obtenidos en este parámetro.

6. Resultados y Discusión

6.2.3.5. Efecto en la textura (TPA)

En la Tabla 51 están incluidos los resultados obtenidos en la **dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad** de los diferentes lotes de jamón cocido elaborados.

Tabla 51. Textura (TPA) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes.

	Lote*		
	Lote NF	Lote VF	Lote VC
Dureza (N)	^A 51,4 \pm 3,4	^A 47,1 \pm 3,0	^A 45,3 \pm 4,9
Cohesividad	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0	^A 0,5 \pm 0,0
Elasticidad (mm)	^A 0,8 \pm 0,0	^A 0,8 \pm 0,0	^A 0,8 \pm 0,1
Masticabilidad (N\timesmm)	^A 20,7 \pm 2,4	^A 19,7 \pm 0,4	^A 17,8 \pm 2,8

* NF: 80 mg/kg nitritos, 1.000 mg/kg fosfatos; VF: 2.200 mg/kg Ext-A, 1.000 mg/kg fosfatos; VC: 2.200 mg/kg Ext-A, 3.000 mg/kg citrato sódico.

^A Medias con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

Puede observarse que la elaboración de jamón cocido con citrato en lugar de fosfatos no modificó los parámetros de textura evaluados ($p > 0,05$). Estos resultados confirman que los citratos tienen propiedades similares a los fosfatos en la mejora de la textura, como se observó en el Ensayo 2.2 y también ha sido indicado por Ruusunen y col. (2003a). Nowak y col. (2007) en salchichas cocidas con bajo contenido en grasa observaron que la utilización de citrato permitía obtener un producto de dureza similar a la del elaborado con fosfatos. Sin embargo, estos autores indicaron que la inclusión de citratos tendía a disminuir la dureza debido posiblemente a diferencias en el mecanismo por el cual estos aditivos modifican la capacidad de retención de agua. Así, los fosfatos tienen un efecto específico sobre la actomiosina, de modo que producen la rotura de este complejo en actina y miosina, y la formación de una red actina-miosina con capacidad de retener agua y grasa. Sin embargo, el citrato solamente aumenta la capacidad de retención de agua mediante el incremento de la fuerza iónica.

Finalmente, en relación a la inclusión de extractos vegetales, los resultados obtenidos coinciden con los del Ensayo 2.1, en el que tampoco se observó que, en la elaboración de jamón cocido, la inclusión de extractos vegetales implicara diferencias ($p > 0,05$) en los parámetros de la textura evaluada instrumentalmente.

6.2.3.6. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

En la Tabla 52 se incluyen los resultados obtenidos en el análisis sensorial descriptivo del jamón cocido elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes. En la Figura 44 se muestra el aspecto visual de dichos jamones.

Tabla 52. Características sensoriales del jamón cocido (Media \pm SD) elaborado con diferentes fuentes de nitrito y diferentes agentes estabilizantes, evaluadas por un panel de catadores entrenado.

	Lote*		
	Lote NF	Lote VF	Lote VC
¹ Aspecto visual			
Homogeneidad de color	^A 3,6 \pm 0,1	^A 2,9 \pm 0,4	^A 2,8 \pm 0,3
Intensidad de color	^A 3,1 \pm 0,2	^A 3,6 \pm 0,1	^A 3,5 \pm 0,5
Ligazón	^B 3,1 \pm 0,8	^B 3,0 \pm 0,3	^A 2,0 \pm 0,1
¹ Olor y flavor			
Intensidad de olor	^A 3,4 \pm 0,1	^A 3,6 \pm 0,7	^A 3,6 \pm 0,3
Calidad de olor	^B 4,4 \pm 0,0	^A 3,8 \pm 0,4	^A 3,8 \pm 0,3
Intensidad de flavor	^A 3,8 \pm 0,3	^A 3,6 \pm 0,4	^A 3,9 \pm 0,1
Calidad de flavor	^B 5,0 \pm 0,0	^A 3,8 \pm 0,3	^A 3,7 \pm 0,1
¹ Textura			
Dureza	^A 2,0 \pm 0,4	^A 2,1 \pm 0,3	^A 2,1 \pm 0,1
Jugosidad	^A 3,3 \pm 0,1	^A 3,6 \pm 0,1	^A 3,3 \pm 0,7
Fibrosidad	^A 1,7 \pm 0,2	^A 1,7 \pm 0,4	^A 2,2 \pm 0,2
Masticabilidad	^A 1,9 \pm 0,3	^A 2,0 \pm 0,0	^B 2,7 \pm 0,2
² ACEPTABILIDAD GLOBAL	^A 4,2 \pm 0,1	^A 4,2 \pm 0,1	^A 3,8 \pm 0,2

* NF: 80 mg/kg nitritos, 1.000 mg/kg fosfatos; VF: 2.200 mg/kg Ext-A, 1.000 mg/kg fosfatos; VC: 2.200 mg/kg Ext-A, 3.000 mg/kg citrato sódico.

¹ Valoración en una escala de 5 puntos donde 1-mínima intensidad y 5- máxima intensidad.

² Valoración en una escala donde 5-excelente, 4-bueno, 3-aceptable, 2-malo y 1-inaceptable.

^{A,B} Medias con diferente superíndice en la misma fila indican diferencias ($p < 0,05$).

En la evaluación del aspecto visual no se encontraron diferencias ($p > 0,05$) ni en la **homogeneidad** ni en la **intensidad del color** en ninguno de los lotes de jamón cocido elaborados. Estos resultados coinciden con los obtenidos para L* y a*, en la evaluación instrumental del color. Por otro lado, en la **ligazón** se observó un menor valor ($p < 0,05$) en el lote elaborado sin fosfatos. Este hecho se puede observar en la Figura 44, donde se aprecia que el jamón cocido del Lote VC presentó grietas.

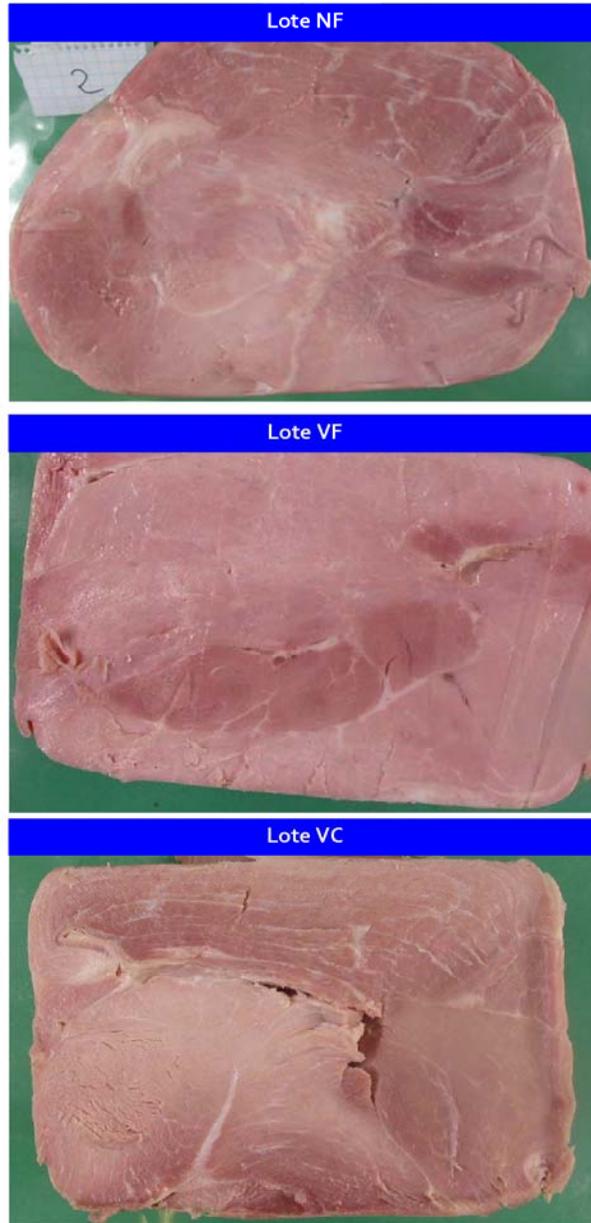


Figura 44. Aspecto del jamón cocido elaborado con nitritos y fosfatos (Lote NF), extractos vegetales y fosfatos (Lote VF) y con extractos vegetales y citratos (Lote VC).

Estos resultados difieren de los obtenidos en el Ensayo 2.2, en el que se observó que mediante la utilización de citrato sódico se obtenía un jamón cocido con una ligazón similar a la del jamón cocido elaborado con fosfatos y muy superior a la del jamón cocido elaborado sin fosfatos ni citratos. Esto podría ser debido a que en el Ensayo 2.2, el jamón cocido que incluía citratos se elaboró con nitritos mientras que en el presente estudio, el jamón cocido que incluía citratos se elaboró con extractos vegetales. En este sentido, a pesar de que en el Ensayo 2.1 se observó que el empleo de extractos vegetales no ejercía ningún efecto en la ligazón, en el presente ensayo, la utilización conjunta de los extractos vegetales junto con el citrato sódico ha podido interferir de algún modo en la ligazón del jamón cocido.

En relación al **olor** y **flavor**, sólo se encontraron diferencias en la **calidad** de estos parámetros, siendo el jamón cocido elaborado con nitritos y con fosfatos (Lote NF) el que obtuvo mayores puntuaciones ($p < 0,05$). En este sentido, los panelistas indicaron que el jamón cocido de los lotes elaborados con extractos vegetales presentaba un ligero olor y flavor a vegetales. Al igual que en el presente ensayo, en el Ensayo 2.1 el jamón cocido elaborado con nitritos presentó la mayor calidad de flavor. Por otro lado, en relación a la inclusión de citrato sódico, indicar que, al igual que en el Ensayo 2.2, tampoco se observó ningún efecto ($p > 0,05$).

En la evaluación sensorial de la textura, en la **dureza**, la **jugosidad** y la **fibrosidad** no se detectaron diferencias entre lotes ($p > 0,05$). Sin embargo, la **masticabilidad** fue mayor en el lote elaborado con citratos ($p < 0,05$). Este parámetro se define como el tiempo requerido para masticar una muestra a fuerza constante, para reducirla a una consistencia apta para deglutirla. Por tanto, los resultados obtenidos indican que el jamón cocido elaborado con citratos necesitaba un mayor número de mordiscos para ser tragado. Estas diferencias podrían ser debidas al menor contenido en agua de estos jamones, ya que como indicaron Arnau y col. (1998) un menor contenido acuoso del producto implica una mayor masticabilidad. Sin embargo, en la evaluación instrumental de la masticabilidad (TPA) no se encontraron diferencias entre lotes. La utilización de muestras con diferente grosor para la realización de cada análisis podría explicar estos resultados.

Respecto a la **aceptabilidad global**, ni la inclusión de extractos vegetales ni de citrato sódico implicó la obtención de diferencias ($p > 0,05$) en este parámetro,

siendo todos los lotes valorados como buenos (puntuación 4), a pesar de la menor ligazón encontrada en el jamón cocido elaborado con citratos. Esto podría ser debido a que los catadores no consideraron que la ligazón fuera el parámetro más determinante en la aceptabilidad del jamón cocido.

6.2.3.7. Resumen

En la elaboración de jamón cocido con extractos vegetales, la sustitución del uso de fosfatos por citratos, además de implicar un menor contenido en fosfatos, supuso la obtención de un jamón cocido con menor rendimiento y mayor índice de amarillo. En la evaluación sensorial con catadores, aunque se observó una menor ligazón y una mayor masticabilidad, la aceptabilidad global del jamón cocido elaborado con citratos fue similar a la del elaborado con fosfatos. En base a estos resultados se podría decir que mediante el uso de extractos vegetales y citratos es posible la obtención de jamón cocido ecológico. Sin embargo, desde el punto de vista económico, la disminución del rendimiento observada así como el hecho de que la menor ligazón del producto puede implicar un menor rendimiento del proceso de loncheado, podrían hacer que esta estrategia no fuera viable.

6.3. CAPITULO 3: ESTUDIO DE VIDA ÚTIL

En este capítulo de la Tesis Doctoral se evaluó la vida útil, bajo diferentes condiciones de almacenamiento, del jamón cocido elaborado con las estrategias más adecuadas para reducir o eliminar el uso de nitritos y/o fosfatos, según los resultados obtenidos en los Capítulos anteriores.

6.3.1. Ensayo 3.1. Estudio de la vida útil del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales

El objetivo de este estudio fue determinar la vida útil del jamón cocido elaborado con: *a)* Form. N, con una concentración reducida de nitritos (80 mg/kg pernil) y de fosfatos (1.000 mg/kg pernil) y *b)* Form. V, con extractos vegetales (2.200 mg/kg de Ext-A) y una concentración reducida de fosfatos (1.000 mg/kg pernil), envasado a vacío y conservado en condiciones de refrigeración tanto en una cámara frigorífica en oscuridad, como en un expositor de alimentos, con luz. Para ello, a los 0, 7, 15 y 23 días de almacenamiento se analizó la flora microbiana, el pH, la a_w , el índice de oxidación lipídica y el color (L^* , a^* , b^*). Además, en estos puntos de muestreo, un panel de catadores entrenado evaluó las características sensoriales del producto, mediante una prueba de aceptación.

6.3.1.1. Evolución de la microflora

En la Tabla 53 se presentan los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos (recuentos de bacterias psicrotrofas, de bacterias anaerobias, de enterobacterias, de bacterias ácido lácticas y de mohos y levaduras), realizados durante la conservación del jamón cocido (Form. N y Form. V), a 2°C bajo condiciones de luz o de oscuridad. Puede observarse que las muestras del lote Form. V-Luz no fueron analizadas en el día 23 de almacenamiento debido a que, en el día 15 éstas ya presentaban recuentos superiores a 7 log ufc/g de bacterias psicrotrofas y de bacterias anaerobias, límite a partir del cual los alimentos son considerados como inaceptables (ICMSF, 1983).

En el día 0, los recuentos de todos los microorganismos estudiados estuvieron por debajo del límite de detección. Teniendo en cuenta que el proceso de cocción al

6. Resultados y Discusión

Tabla 53. Evolución de la flora microbiana (log ufc/g) (Media ± SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V), durante su almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.

		Días de almacenamiento			
Lotes		0	7	15	23
Bacterias Psicrotrofas	Form. N-Luz	<1,0	^A 4,6 ± 0,6 _a	^A 5,9 ± 1,6 _a	^B 8,7 ± 0,2 _b
	Form. N-Oscuridad	<1,0	^A 3,4 ± 1,7 _a	^A 6,0 ± 0,3 _b	^A 7,1 ± 0,7 _b
	Form. V-Luz	<1,0	^A 5,4 ± 0,1 _a	^B 7,9 ± 0,2 _b	----
	Form. V-Oscuridad	<1,0	^A 4,2 ± 0,6 _a	^{AB} 6,4 ± 0,4 _b	^A 7,3 ± 0,8 _b
Bacterias Anaerobias	Form. N-Luz	<1,0	^A 4,7 ± 1,2 _a	^C 6,9 ± 0,5 _b	^C 8,6 ± 0,2 _b
	Form. N-Oscuridad	<1,0	^A 2,4 ± 1,8 _a	^B 5,1 ± 0,4 _b	^B 7,1 ± 0,7 _b
	Form. V-Luz	<1,0	^A 4,1 ± 0,6 _a	^C 7,5 ± 0,3 _b	----
	Form. V-Oscuridad	<1,0	^A 2,8 ± 0,2 _a	^A 3,8 ± 0,9 _a	^A 5,9 ± 0,5 _b
Enterobacterias	Form. N-Luz	<1,0	^A 3,2 ± 1,0 _a	^B 5,2 ± 1,1 _{ab}	^A 6,4 ± 1,6 _b
	Form. N-Oscuridad	<1,0	<1,0	^{AB} 4,4 ± 0,5 _a	^A 4,4 ± 1,2 _a
	Form. V-Luz	<1,0	^A 3,4 ± 0,1 _a	^C 6,8 ± 0,4 _b	----
	Form. V-Oscuridad	<1,0	^A 2,1 ± 0,8 _a	^A 3,5 ± 0,7 _{ab}	^A 5,1 ± 0,5 _b
BAL	Form. N-Luz	<2,0	^A 3,5 ± 1,7 _a	^B 6,9 ± 0,2 _b	^B 8,2 ± 0,4 _b
	Form. N-Oscuridad	<2,0	<2,0	^{AB} 5,3 ± 1,7 _a	^{AB} 6,4 ± 1,0 _a
	Form. V-Luz	<2,0	^A 2,8 ± 0,9 _a	^{AB} 5,0 ± 0,3 _b	----
	Form. V-Oscuridad	<2,0	<2,0	^A 3,5 ± 1,1 _a	^A 5,1 ± 2,1 _a
Mohos y Levaduras	Form. N-Luz	<1,0	^A 1,5 ± 0,6 _a	^A 2,5 ± 1,7 _a	^A 2,0 ± 1,2 _a
	Form. N-Oscuridad	<1,0	<1,0	^A 1,9 ± 1,1 _a	^A 2,4 ± 1,7 _a
	Form. V-Luz	<1,0	<1,0	^A 2,1 ± 1,3 _a	----
	Form. V-Oscuridad	<1,0	<1,0	^A 1,8 ± 1,0 _a	^A 3,0 ± 1,5 _a

^{A, B, C} Medias con diferentes superíndices en la misma columna para cada grupo de microorganismos indican diferencias entre lotes (p<0,05).

_{a, b} Medias con diferentes subíndices en la misma fila para cada grupo de microorganismos indican diferencias durante el tiempo de almacenamiento (p<0,05).

que se someten estos productos durante su elaboración es capaz de eliminar las formas vegetativas de los microorganismos (Marcos y col., 2007), la ausencia de microorganismos en este punto es indicativo de que tanto la cocción como la manipulación posterior se realizaron de forma adecuada. Resultados similares a los obtenidos en este estudio fueron encontrados por otros autores en diferentes productos cárnicos cocidos (Mataragas y col., 2006; Hu y col., 2009).

A lo largo del tiempo de almacenamiento, en general y como era de esperar, se observó un incremento ($p < 0,05$) de los microorganismos evaluados en el jamón cocido elaborado con las formulaciones estudiadas y conservado tanto en luz como en oscuridad. En el día 15, el jamón cocido almacenado con luz presentaba recuentos próximos o superiores a 7 log ufc/g en alguno de los microorganismos estudiados, sin embargo, el jamón cocido almacenado en oscuridad no alcanzó estos niveles hasta el día 23.

Andersen y col. (1990) evaluaron el efecto del tipo de envasado sobre jamón cocido loncheado, almacenado en un mural expositor a 7°C y obtuvieron recuentos totales de 8,3 log ufc/g después de 2 semanas de almacenamiento, lo que estaría de acuerdo con nuestros resultados. Sin embargo, a diferencia de los resultados obtenidos en este ensayo, Hu y col. (2009) observaron en jamón cocido loncheado envasado al vacío y almacenado a 4°C recuentos totales y de BAL de 7 log ufc/g a los 7 días. Samelis y col. (2000) obtuvieron recuentos totales de 7-8 log ufc/g en lomo, jamón y pavo cocidos, envasados a vacío y almacenados a 4°C en oscuridad a los 15 días. También, este resultado fue obtenido por Pexara y col. (2002) en pavo cocido y en salchichas cocidas envasados a vacío y almacenadas a 4°C. Estas discrepancias en los niveles de los microorganismos responsables del deterioro podrían deberse a factores tales como la temperatura de almacenamiento, la permeabilidad del film utilizado para el envasado, la presencia de diferentes microorganismos debido a diferencias en la atmósfera gaseosa que rodea al producto, el método de cocción utilizado durante la elaboración, las diferencias de composición del producto y a las condiciones higiénicas durante su manipulación (Samelis y col., 2000).

De los microorganismos estudiados, las BAL fueron el principal grupo bacteriano responsable del deterioro del jamón cocido, lo que estaría de acuerdo con los resultados de Pexara y col. (2002), de Mataragas y col. (2006) y de

Kreyenschmidt y col. (2009) que indicaron que en los productos cárnicos cocidos, envasados a vacío y refrigerados, la presencia de nitritos y de bajos niveles de oxígeno junto con las bajas temperaturas de almacenamiento crean un medioambiente propicio para el crecimiento de BAL tales como *Leuconostoc* spp. y *Lactobacillus* spp. Por otro lado, los recuentos de mohos y levaduras no superaron los 3 log ufc/g, posiblemente debido a las condiciones anóxicas creadas por el tipo de envasado, a la presencia de nitritos y al crecimiento de las BAL (Mataragas y col., 2006).

Entre lotes no se detectaron diferencias ($p>0,05$) hasta el día 15 de almacenamiento. Para una misma formulación (N o V) se observó que el jamón cocido almacenado con luz presentaba recuentos más altos que el almacenado en oscuridad para determinados microorganismos en los días 15 y 23. Este hecho pudo deberse a que las muestras almacenadas en luz estuvieron sometidas a mayores variaciones de temperatura como consecuencia de los ciclos de desescarche del mural expositor, durante los cuales podían alcanzarse hasta 10°C tal y como se indicó en Material y Métodos (Figura 23). Andersen y col. (1988) obtuvieron resultados similares en jamón cocido loncheado, envasado a vacío y almacenado bajo luz en un mural de refrigeración, que alcanzaba 12°C cuando realizaba el desescarche. Estos autores indicaron que, en el día 13 de envasado, las muestras almacenadas bajo luz presentaban recuentos de bacterias totales de 6,6 log ufc/g mientras que cuando se almacenaba en oscuridad a 2°C los recuentos eran de 5,8 log ufc/g.

También en estudios realizados para evaluar el comportamiento de los microorganismos presentes en jamón cocido loncheado, envasado y almacenado a diferentes temperaturas, Vasilopoulos y col. (2007) y Leroy y col. (2009) observaron que cuando las muestras se almacenaban a 4°C se alcanzaban recuentos totales de 6 log ufc/g a los 12 días, mientras que cuando la temperatura de almacenamiento era 12°C estos niveles se podían alcanzar a los 5 días. Además, estos autores apuntaron que el efecto de la temperatura era especialmente significativo en los recuentos de enterobacterias que podían llegar a niveles de 6-7 log ufc/g cuando el jamón cocido se almacenaba a 12°C. Este hecho se vio reflejado en nuestro estudio, en el que las muestras de la Form. V, a los 15 días, presentaron recuentos de enterobacterias de 6,8 log ufc/g cuando se almacenaban con luz y de 3,5 log ufc/g cuando se almacenaban en oscuridad.

Entre formulaciones, a pesar de que para alguno de los microorganismos estudiado se encontraron diferencias ($p < 0,05$) entre el jamón cocido elaborado con nitritos (Form. N) y el elaborado con extractos vegetales (Form. V) a los 15 y 23 días de almacenamiento, en ambas condiciones de iluminación, no se pudo establecer una tendencia clara. El hecho de que los jamones fueran elaborados con diferentes formulaciones y que el jamón cocido que incluía extractos vegetales presentara mayor contenido de nitritos residuales que el elaborado con 80 mg/kg de nitritos (Tabla 36) podría dar lugar a diferencias en los recuentos microbiológicos, sobre todo si se tiene en cuenta el efecto antimicrobiano de los nitritos. Sin embargo, en base a los resultados obtenidos, la vida útil del jamón cocido elaborado con una baja concentración de nitritos fue similar a la del jamón cocido elaborado con extractos vegetales y se estableció en 15 ó 23 días, en función de si el jamón cocido se almacenó en luz o en oscuridad, respectivamente.

6.3.1.2. Evolución del pH y de la a_w

En la Tabla 54 se pueden observar los resultados obtenidos en el pH y en la a_w , de los diferentes lotes de jamón cocido elaborado (Form. N y Form. V), almacenado bajo condiciones de luz o de oscuridad.

Respecto al **pH**, no se observaron diferencias ($p > 0,05$) a lo largo del periodo de almacenamiento en ningún caso. Resultados similares han sido mostrados por otros autores en jamón cocido envasado a vacío o en atmósferas modificadas que no contenían oxígeno (Scannell y col., 2002; Vermeiren y col., 2004, 2006) o en otros productos cárnicos cocidos envasados en diferentes atmósferas (Díaz y col., 2008; Viuda-Martos y col., 2010a). Por el contrario, autores como Vasilopoulos y col. (2007), Sindelar y col. (2007b), Hu y col. (2009), Kreyenschmidt y col. (2009) y Viuda-Martos y col. (2010c) observaron un descenso del pH a lo largo del periodo de almacenamiento de diferentes productos cárnicos cocidos, que fue atribuido al crecimiento de las BAL.

El comportamiento del pH durante el almacenamiento de los productos cárnicos depende tanto de la cantidad de carbohidratos fermentables, principalmente de glucosa, en el producto como del tipo de cepa y de la cantidad de BAL (Borch y col., 1991). Vermeiren y col. (2004, 2006) indicaron que las BAL son capaces de formar un máximo de 2 moles de ácido láctico a partir de 1 mol de glucosa, por lo que a mayor cantidad de glucosa en el producto, mayor será la producción de ácido

6. Resultados y Discusión

láctico y por consiguiente, la disminución del pH. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que dependiendo del carácter heterofermentativo de las cepas de BAL presentes, la acidificación del producto será mayor o menor.

Tabla 54. Evolución del pH y de la a_w (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V), durante su almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.

		Días de almacenamiento			
Lotes		0	7	15	23
pH	Form. N-Luz	^A 6,3 \pm 0,2 _a	^A 6,3 \pm 0,2 _a	^A 6,3 \pm 0,1 _a	^A 6,2 \pm 0,2 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 6,3 \pm 0,2 _a	^A 6,4 \pm 0,1 _a	^A 6,3 \pm 0,1 _a	^A 6,3 \pm 0,1 _a
	Form. V-Luz	^A 6,0 \pm 0,2 _a	^A 6,1 \pm 0,3 _a	^A 6,0 \pm 0,3 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 6,0 \pm 0,2 _a	^A 6,1 \pm 0,2 _a	^A 6,1 \pm 0,2 _a	^A 6,0 \pm 0,2 _a
a_w	Form. N-Luz	^A 0,979 \pm 0,003 _a	^A 0,979 \pm 0,005 _a	^A 0,979 \pm 0,002 _a	^A 0,979 \pm 0,003 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 0,979 \pm 0,003 _a	^A 0,979 \pm 0,003 _a	^A 0,980 \pm 0,003 _a	^A 0,980 \pm 0,004 _a
	Form. V-Luz	^A 0,975 \pm 0,000 _a	^A 0,975 \pm 0,000 _a	^A 0,978 \pm 0,001 _b	----
	Form. V-Oscuridad	^A 0,975 \pm 0,000 _a	^A 0,975 \pm 0,001 _a	^A 0,975 \pm 0,001 _a	^A 0,980 \pm 0,000 _b

^A Medias con diferentes superíndices en la misma columna para cada parámetro indican diferencias entre lotes ($p < 0,05$).

_{a, b} Medias con diferentes subíndices en la misma fila para cada parámetro indican diferencias durante el tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$).

Respecto a los diferentes lotes, no se encontraron diferencias ($p > 0,05$) en el jamón cocido elaborado con la misma formulación (N o F) cuando se almacenaba en luz o en oscuridad. En este sentido, se podría indicar que el aumento de temperatura que tuvo lugar en el mural de refrigeración durante los periodos de desescarche no tuvo influencia en este parámetro. Kreyenschmidt y col. (2009) tampoco observaron diferencias en el pH de jamón cocido almacenado a distintas temperaturas (2, 7, 10 ó 15°C). Por último, el jamón cocido elaborado con la Form. N presentó un pH similar ($p > 0,05$) al de la Form. V durante todo el proceso de almacenamiento.

En relación a la a_w , este parámetro permaneció constante ($p>0,05$) en el jamón cocido del Lote Form N durante el almacenamiento en luz u oscuridad, mientras que experimentó un ligero aumento a partir del día 15 ($p<0,05$) en el jamón cocido del Lote Form. V almacenado en las dos condiciones. A pesar de este comportamiento, los valores obtenidos en 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). En los estudios realizados por Scannell y col. (2002), Mataragas y col. (2006), Díaz y col. (2008), Mercadante y col. (2009) y Díaz y col. (2010) tampoco se encontraron diferencias en la a_w de diferentes productos cárnicos cocidos a lo largo del periodo de almacenamiento.

Finalmente, entre lotes no se encontraron diferencias en la a_w ($p>0,05$) ni entre los almacenados bajo diferentes condiciones de iluminación, ni entre los lotes elaborados con diferente formulación.

6.3.1.3. Evolución del color (L^* , a^* , b^*)

En la Tabla 55 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación instrumental del color en los diferentes lotes de jamón cocido elaborado (Form. N y Form. V), almacenados bajo condiciones de luz o de oscuridad. Puede observarse que a lo largo del tiempo de almacenamiento L^* , a^* y b^* permanecieron constantes en todos los casos ($p>0,05$).

Autores como Nannerup y col. (2004), Díaz y col. (2008), Mercadante y col. (2009) tampoco encontraron cambios en el color de diferentes productos cárnicos cocidos, envasados y almacenados en refrigeración, durante su almacenamiento en oscuridad. Sin embargo, Scannell y col. (2002) observaron en jamón cocido loncheado, envasado y almacenado en un mural expositor bajo luz, 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 el jamón cocido loncheado, envasado a vacío y almacenado en cabinas de refrigeración iluminadas. Estos autores apuntaron que el grado de blanqueamiento del jamón cocido dependió del porcentaje de O_2 residual en el envase y de la permeabilidad del material plástico utilizado para el envasado. De acuerdo con Honikel (2008), cuando el principal pigmento responsable del color rosa de los productos cárnicos cocidos, el nitrosilhemocromo, se expone a la luz y a la presencia de O_2 , se oxida dando lugar al desarrollo de un color más apagado en la

6. Resultados y Discusión

superficie del producto. En este sentido, Larsen y col. (2006) establecieron en un 0,15% el nivel de O₂ residual, por debajo del cual la cantidad de moléculas de O₂ disponibles no es suficiente para que puedan llevarse a cabo los procesos de fotooxidación. Por tanto, los resultados obtenidos en nuestro estudio indicarían que el nivel de O₂ residual de los envases de jamón cocido era inferior a este valor.

Tabla 55. Evolución del color (L*, a* y b*) (Media ± SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V) durante el almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.

		Días de almacenamiento			
Lote		0	7	15	23
L*	Form. N-Luz	^A 57,4 ± 4,5 _a	^A 57,5 ± 4,2 _a	^A 58,4 ± 5,4 _a	^A 58,3 ± 5,3 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 57,4 ± 4,5 _a	^A 60,8 ± 4,6 _a	^A 60,6 ± 2,9 _a	^A 59,9 ± 1,7 _a
	Form. V-Luz	^A 62,8 ± 1,7 _a	^A 63,1 ± 3,1 _a	^A 61,0 ± 3,7 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 62,8 ± 1,7 _a	^A 61,9 ± 2,9 _a	^A 65,0 ± 3,1 _a	^A 61,2 ± 1,7 _a
a*	Form. N-Luz	^A 10,7 ± 1,8 _a	^A 11,1 ± 1,8 _a	^A 10,8 ± 1,8 _a	^A 10,0 ± 2,7 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 10,7 ± 1,8 _a	^A 10,6 ± 2,6 _a	^A 10,0 ± 1,6 _a	^A 10,6 ± 1,4 _a
	Form. V-Luz	^A 8,4 ± 0,5 _a	^A 7,9 ± 1,6 _a	^A 8,6 ± 0,7 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 8,4 ± 0,5 _a	^A 8,6 ± 0,9 _a	^A 8,7 ± 0,5 _a	^A 8,9 ± 1,0 _a
b*	Form. N-Luz	^A 8,8 ± 0,7 _a	^A 8,6 ± 1,3 _a	^A 9,3 ± 0,5 _a	^A 9,2 ± 1,0 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 8,8 ± 0,7 _a	^A 8,6 ± 0,9 _a	^A 8,1 ± 1,6 _a	^A 9,3 ± 0,9 _a
	Form. V-Luz	^A 8,7 ± 0,1 _a	^A 9,8 ± 0,9 _b	^A 9,7 ± 0,3 _{ab}	----
	Form. V-Oscuridad	^A 8,7 ± 0,1 _a	^A 9,6 ± 0,5 _a	^A 9,1 ± 0,6 _a	^A 9,5 ± 1,0 _a

^A Medias con diferentes superíndice en la misma columna para cada parámetro indican diferencias entre los lotes (p<0,05).

_{a, b} Medias con diferentes subíndice en la misma fila para cada parámetro indican diferencias durante el tiempo de almacenamiento (p<0,05).

Por otro lado, también se han encontrado resultados similares a los obtenidos en este ensayo en diferentes estudios realizados en productos cárnicos cocidos elaborados con diversos extractos naturales (Sindelar y col., 2007 a y b; Núñez de González y col., 2009). Así, en estos estudios se ha indicado que los parámetros L* y b* permanecían estables a lo largo del tiempo de almacenamiento en oscuridad hasta el día 28 aproximadamente, tiempo a partir del cual se observaba un aumento

de L^* y una disminución a^* . De acuerdo con Dineen y col. (2000), la estabilidad del color de los productos cárnicos depende de la concentración de nitritos residuales, por lo que estas modificaciones podrían estar relacionadas con la cantidad de nitrito residual. Sindelar y col. (2007a) indicaron que los nitritos podrían actuar, durante el almacenamiento, como reservorio de las reacciones relacionadas con el desarrollo del color en las que interviene el nitrito.

En estudios realizados en productos cárnicos cocidos elaborados con diferentes extractos naturales y almacenados en luz, Viuda-Martos y col. (2010a, 2010c) observaron que mientras L^* permanecía constante a lo largo de 24 días de almacenamiento debido al efecto protector del envasado frente al O_2 , a partir de los días 12-18 de envasado a^* disminuía y b^* aumentaba. Estos autores indicaron que factores como 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 estas modificaciones.

Respecto a los distintos lotes, no se encontraron diferencias ($p>0,05$) en los parámetros evaluados en la medida del color instrumental, a pesar del hecho que el haber elaborado jamón cocido con diferentes formulaciones implicó diferencias en el contenido de nitritos residuales (Tabla 36).

En cuanto a las condiciones de almacenamiento, éstas no implicaron modificaciones de L^* , a^* y b^* ($p>0,05$) en ninguno de los puntos de muestreo evaluados. A diferencia de estos resultados, Houben y Gerris (2002) observaron un menor valor de a^* en las lonchas de paleta cocida, envasadas a vacío y almacenadas bajo luz que en las almacenadas en oscuridad. También Moller y col. (2000, 2003b) observaron que las muestras de jamón cocido envasadas en atmósferas modificadas y almacenadas en un mural de refrigeración bajo luz se decoloraban más rápidamente que las almacenadas en oscuridad, cuando los envases contenían una cantidad de O_2 residual de un 0,5%. Como se ha comentado anteriormente, el nitrosilhemocromo es fotolábil y sensible a la oxidación, de modo que a medida que se aumenta la intensidad de luz y el tiempo de exposición a la misma, la pérdida de color se incrementa (Scannell y col., 2002).

6.3.1.4. Evolución de la oxidación lipídica (TBARS)

Los valores de TBARS, indicador de la oxidación lipídica, obtenidos en la evaluación de los diferentes lotes de jamón cocido elaborados (Form. N y Form. V), almacenados bajo condiciones de luz o de oscuridad se pueden observar en la Tabla 56.

Tabla 56. Evolución de los valores de TBARS (μg de malonaldehído/g) (Media \pm SD) del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Form. V), durante el almacenamiento en refrigeración bajo condiciones de luz u oscuridad.

Lotes	Días de almacenamiento			
	0	7	15	23
Form. N-Luz	^A 0,09 \pm 0,01 _a	^A 0,13 \pm 0,06 _b	^B 0,16 \pm 0,03 _b	^A 0,17 \pm 0,04 _b
Form. N-Oscuridad	^A 0,09 \pm 0,01 _a	^A 0,12 \pm 0,03 _b	^B 0,17 \pm 0,02 _b	^A 0,15 \pm 0,02 _b
Form. V-Luz	^B 0,12 \pm 0,02 _{ab}	^A 0,09 \pm 0,02 _a	^{AB} 0,15 \pm 0,03 _b	----
Form. V-Oscuridad	^B 0,12 \pm 0,02 _a	^A 0,10 \pm 0,02 _a	^A 0,12 \pm 0,03 _a	^A 0,13 \pm 0,03 _a

^{A, B} Medias con diferentes superíndice en la misma columna indican diferencias entre los lotes ($p < 0,05$).

_{a, b} Medias con diferentes subíndice en la misma fila indican diferencias durante el tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$).

Como puede observarse, este parámetro aumentó en el jamón cocido de la Form. N a lo largo del tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$), tanto en luz como en oscuridad, mientras que permaneció constante en el jamón cocido de la Form. V. De forma general, un aumento de la oxidación lipídica ha sido observado por otros autores en jamón cocido elaborado con nitritos a los 10 días de ser envasado a vacío y almacenado en luz (Dineen y col., 2002), 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 y envasado a vacío a partir de los 42 días de almacenamiento en oscuridad (Núñez de González y col., 2009). De acuerdo con Møller y col. (2000), la estabilidad lipídica del jamón cocido, loncheado y envasado depende del tipo de envasado, del efecto de los nitritos residuales y del bajo contenido en grasa presente en este producto. Por ello, el hecho de que el jamón cocido elaborado con nitritos (Form. N) presentara una menor estabilidad lipídica, posiblemente fue debido a que este lote

presentó valores de nitritos residuales inferiores a los del jamón cocido del lote elaborado con extractos vegetales (Tabla 36).

No obstante, es preciso indicar que en todos los casos, los valores de TBARS fueron muy bajos, inferiores a los valores de TBARS a partir de los que se detectan cambios en el olor (0,5-1,0 $\mu\text{g/g}$) y en el flavor (1,0-2,0 $\mu\text{g/g}$) (Tarladgis y col., 1960).

Respecto a los diferentes lotes, cuando el jamón cocido fue elaborado con la misma formulación (N o V) no se encontraron diferencias ($p>0,05$) en los valores de TBARS entre las muestras almacenadas en luz y las muestras almacenadas en oscuridad. Es bien conocido que la luz participa en la oxidación lipídica y que provoca el deterioro de lípidos, vitaminas, proteínas y de los pigmentos de los alimentos, favoreciendo la formación de sabores desagradables, pérdidas de nutrientes y decoloraciones. Estos procesos dependen de la intensidad y de la duración de la exposición a la luz y de la resistencia del envase a la luz (Rakesh y Singh, 2005). Sin embargo, para que se inicie la fotooxidación es necesaria la presencia de oxígeno en el espacio de cabeza del envase. En este sentido, es posible que las muestras analizadas en este estudio, como se indicó anteriormente, presentaran muy bajos niveles de O_2 , lo que pudo ser el motivo por el que no se encontraron diferencias entre las muestras almacenadas en luz y las almacenadas en oscuridad.

En relación a las diferentes formulaciones, se encontraron diferencias en la oxidación lipídica entre el jamón cocido de la Form. N y el jamón cocido de la Form. V en los días 0 y 15 de envasado. El jamón cocido de la Form. N presentó valores de TBARS más bajos ($p<0,05$) en el día 0, sin embargo, en el día 15 presentó valores superiores ($p<0,05$) que los del jamón cocido de la Form. V, almacenado en oscuridad. Haak y col. (2006) y Sárraga y col. (2007) encontraron valores de TBARS de 0,09-0,17 $\mu\text{g/g}$ tras la elaboración de jamón cocido con nitritos añadidos. Sindelar y col. (2007b) obtuvieron valores de TBARS de 0,24-0,30 $\mu\text{g/g}$, en jamón cocido elaborado con extractos vegetales, que al igual que en nuestro estudio, indicaron que fueron superiores a los del jamón cocido elaborado con nitritos (0,13 $\mu\text{g/g}$). Estos autores indicaron también que este hecho pudo deberse a que la duración de la etapa de cocción es mayor cuando se utilizan extractos vegetales junto con cultivos estériles como estrategia para elaborar jamón

cocido. De modo similar, en nuestro estudio, el mayor tiempo de cocción de la Form. V (220 minutos) en comparación con la Form. N (160 minutos) explicaría los resultados obtenidos en el día 0. Por otro lado, durante el periodo de conservación, el hecho de que el jamón cocido de la Form. V presentara mayores niveles de nitritos residuales hizo que éste mostrara una mayor estabilidad lipídica a lo largo del tiempo, lo que pudo implicar que a los 15 días el jamón cocido de la Form. N tuviera valores más altos de oxidación lipídica.

6.3.1.5. Efecto en las características sensoriales evaluadas por un panel de catadores entrenados

En la Tabla 57 se incluyen los resultados obtenidos en el análisis sensorial de los jamones elaborados en este estudio (Form. N y Form. V), a lo largo de su almacenamiento bajo luz u oscuridad. Puede observarse que, en el día 0, todos los lotes de jamón cocido presentaron en todos los parámetros evaluados puntuaciones de 4-5, lo que indicó de acuerdo con la escala utilizada, que todos los jamones eran buenos-excelentes. Según los catadores, los jamones presentaban características sensoriales como color rosado típico y olor y flavor característicos.

El **color** del jamón cocido de la Form. N almacenado en luz presentó un descenso en el día 23 ($p < 0,05$) mientras que en el resto de lotes permaneció constante durante el almacenamiento ($p > 0,05$). La estabilidad observada en este parámetro coincide con los resultados obtenidos en la evaluación instrumental del color. Sin embargo, el pequeño descenso detectado en el color del jamón cocido elaborado con nitritos en el día 23 de su almacenamiento en el mural expositor pudo estar relacionado con el hecho de que estos jamones presentaran los mayores recuentos microbianos (Tabla 53). En este sentido, Mataragas y col. (2006) y McMilling (2008) apuntaron que el deterioro de los alimentos debido al crecimiento bacteriano puede producir decoloraciones. De acuerdo con Hugas y Monfort (1997), la mayoría de las BAL son capaces de formar peróxido de hidrógeno que favorece la decoloración del pigmento nitrosilhemocromo.

Las puntuaciones del **olor** y del **flavor** disminuyeron en el día 23 en el jamón cocido de la Form. N almacenado en luz y oscuridad y en el día 15 en el jamón cocido de la Form. V almacenado en ambas condiciones ($p < 0,05$). Los panelistas indicaron que el jamón cocido, en los últimos días de su almacenamiento, presentaba olores y sabores anómalos (agrio, picante, etc.). Samelis y col. (2000),

Tabla 57. Evolución de los parámetros sensoriales (Media \pm SD) evaluados con un panel de catadores durante el almacenamiento en refrigeración del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de aditivos (Form. N) y del elaborado con extractos vegetales (Form. V), bajo condiciones de luz u oscuridad.

	Lote	Días de almacenamiento			
		0	7	15	23
Color	Form. N-Luz	^B 4,4 \pm 0,1 _b	^A 4,5 \pm 0,2 _b	^A 4,2 \pm 0,6 _{ab}	^A 3,7 \pm 0,6 _a
	Form. N-Oscuridad	^B 4,4 \pm 0,0 _{ab}	^A 4,5 \pm 0,1 _b	^A 4,4 \pm 0,4 _{ab}	^A 3,9 \pm 0,6 _a
	Form. V-Luz	^A 4,2 \pm 0,1 _a	^A 4,2 \pm 0,3 _a	^A 3,8 \pm 0,3 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 4,2 \pm 0,1 _a	^A 4,4 \pm 0,3 _a	^A 3,9 \pm 0,1 _a	^A 3,8 \pm 0,2 _a
Olor	Form. N-Luz	^B 4,5 \pm 0,1 _b	^A 4,2 \pm 0,3 _b	^{AB} 3,8 \pm 0,4 _b	^A 3,0 \pm 1,0 _a
	Form. N-Oscuridad	^B 4,5 \pm 0,1 _b	^A 4,2 \pm 0,2 _b	^B 4,1 \pm 0,5 _{ab}	^A 3,5 \pm 0,5 _a
	Form. V-Luz	^A 4,3 \pm 0,1 _b	^A 4,1 \pm 0,3 _b	^A 3,2 \pm 0,2 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 4,3 \pm 0,1 _b	^A 4,1 \pm 0,2 _b	^{AB} 3,5 \pm 0,1 _a	^A 3,3 \pm 0,3 _a
Flavor	Form. N-Luz	^A 4,5 \pm 0,2 _c	^A 4,0 \pm 0,5 _{bc}	^{AB} 3,5 \pm 0,4 _{ab}	^A 3,2 \pm 0,3 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 4,5 \pm 0,2 _b	^A 4,1 \pm 0,4 _{ab}	^B 4,0 \pm 0,3 _{ab}	^B 3,7 \pm 0,2 _a
	Form. V-Luz	^A 4,5 \pm 0,2 _b	^A 3,9 \pm 0,2 _b	^A 3,0 \pm 0,6 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 4,5 \pm 0,2 _b	^A 4,0 \pm 0,2 _b	^A 3,1 \pm 0,1 _a	^{AB} 3,3 \pm 0,3 _a
Pastosidad	Form. N-Luz	^A 4,5 \pm 0,1 _a	^A 4,4 \pm 0,3 _a	^A 4,4 \pm 0,5 _a	^A 4,1 \pm 0,2 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 4,5 \pm 0,1 _a	^A 4,3 \pm 0,3 _a	^A 4,4 \pm 0,6 _a	^B 4,5 \pm 0,1 _a
	Form. V-Luz	^A 4,4 \pm 0,2 _a	^A 4,4 \pm 0,3 _a	^A 3,9 \pm 0,4 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 4,4 \pm 0,2 _a	^A 4,3 \pm 0,1 _a	^A 3,9 \pm 0,3 _a	^A 4,0 \pm 0,2 _a
Jugosidad	Form. N-Luz	^A 3,9 \pm 0,2 _a	^A 3,8 \pm 0,4 _a	^A 3,8 \pm 0,4 _a	^A 3,4 \pm 0,2 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 3,9 \pm 0,2 _a	^A 3,9 \pm 0,3 _a	^A 3,9 \pm 0,5 _a	^A 3,9 \pm 0,1 _a
	Form. V-Luz	^A 4,1 \pm 0,3 _a	^A 3,9 \pm 0,2 _a	^A 3,6 \pm 0,3 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 4,1 \pm 0,1 _a	^A 3,9 \pm 0,3 _a	^A 3,5 \pm 0,3 _a	^A 3,8 \pm 0,3 _a
Aceptabilidad global	Form. N-Luz	^A 4,4 \pm 0,1 _c	^A 4,1 \pm 0,4 _{bc}	^{AB} 3,7 \pm 0,4 _b	^A 3,0 \pm 0,6 _a
	Form. N-Oscuridad	^A 4,4 \pm 0,1 _b	^A 4,1 \pm 0,2 _{ab}	^B 4,0 \pm 0,4 _{ab}	^A 3,5 \pm 0,6 _a
	Form. V-Luz	^A 4,4 \pm 0,1 _b	^A 4,1 \pm 0,3 _b	^A 3,3 \pm 0,3 _a	----
	Form. V-Oscuridad	^A 4,4 \pm 0,1 _b	^A 4,2 \pm 0,2 _b	^{AB} 3,4 \pm 0,1 _a	^A 3,6 \pm 0,1 _a

^{A, B} Medias con diferentes superíndice en la misma columna para cada parámetro indican diferencias entre los lotes ($p < 0,05$).

^{a, b, c} Medias con diferentes subíndices en la misma fila para cada parámetro indican diferencias durante el tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$).

Cabeza y col. (2007) y Núñez de González y col. (2009) obtuvieron resultados similares a los de nuestro estudio, en muestras de jamón cocido, envasadas a vacío y almacenadas a 4°C, atribuyendo la presencia de estos olores y sabores al crecimiento de las BAL. Otros autores como Garriga y col. (2001) y Mataragas y col. (2006) también indicaron que las BAL eran responsables de la formación de olores y sabores desagradables en los productos cárnicos.

En la **pastosidad** y la **jugosidad** no se encontraron diferencias ($p>0,05$) a lo largo del almacenamiento en ninguno de los lotes evaluados. Sin embargo, autores como Díaz y col. (2008) indicaron una pérdida de jugosidad y de firmeza en lomo cocido envasado durante 70 días de almacenamiento atribuido a la degradación de las proteínas. En nuestro ensayo es posible que 23 días de almacenamiento no fuera tiempo suficiente para poder observar modificaciones en la textura.

La **aceptabilidad global** disminuyó ($p<0,05$) progresivamente durante el periodo de almacenamiento en todos los lotes de jamón cocido, lo que coincide con los resultados obtenidos por Kreyenschmidt y col. (2009) en jamón cocido envasado a vacío y almacenado a diferentes temperaturas (2, 7, 10 ó 15°C) durante 33 días. En relación a las puntuaciones, el jamón cocido almacenado en luz presentó valores próximos a 3 (aceptable) a los 15 días en el caso de la Form. V y a los 23 días en la Form. N. Cuando el jamón cocido se almacenó en oscuridad, al final del envasado, la aceptabilidad fue 3-4 (aceptable-bueno) en ambas formulaciones. El aspecto del jamón cocido de los diferentes lotes evaluados al inicio y al final del almacenamiento se muestra en la Figura 45 y 46.

Por último, en relación a las diferencias entre lotes, los jamones elaborados con diferentes formulaciones presentaron diferencias en el color y en el olor ($p<0,05$) en el día 0, siendo el jamón cocido de la Form. N el que se valoró con mayor puntuación. Sin embargo, a pesar de estas diferencias, en todos los casos el jamón cocido obtuvo puntuaciones por encima de 4 (bueno). También en los días 15 y 23 de muestreo se encontraron diferencias entre lotes en alguno de los parámetros evaluados, sin embargo éstas no permitieron establecer tendencias claras.

Finalmente, a la vista de los resultados obtenidos, indicar que desde el punto de vista sensorial la utilización de extractos vegetales no implicó una disminución de la vida útil del producto almacenado bajo condiciones de luz u oscuridad.



Figura 45. Jamón cocido loncheado de la Form. N al inicio del periodo de almacenamiento (día 0) y al final del periodo de almacenamiento (día 23 en luz y en oscuridad).

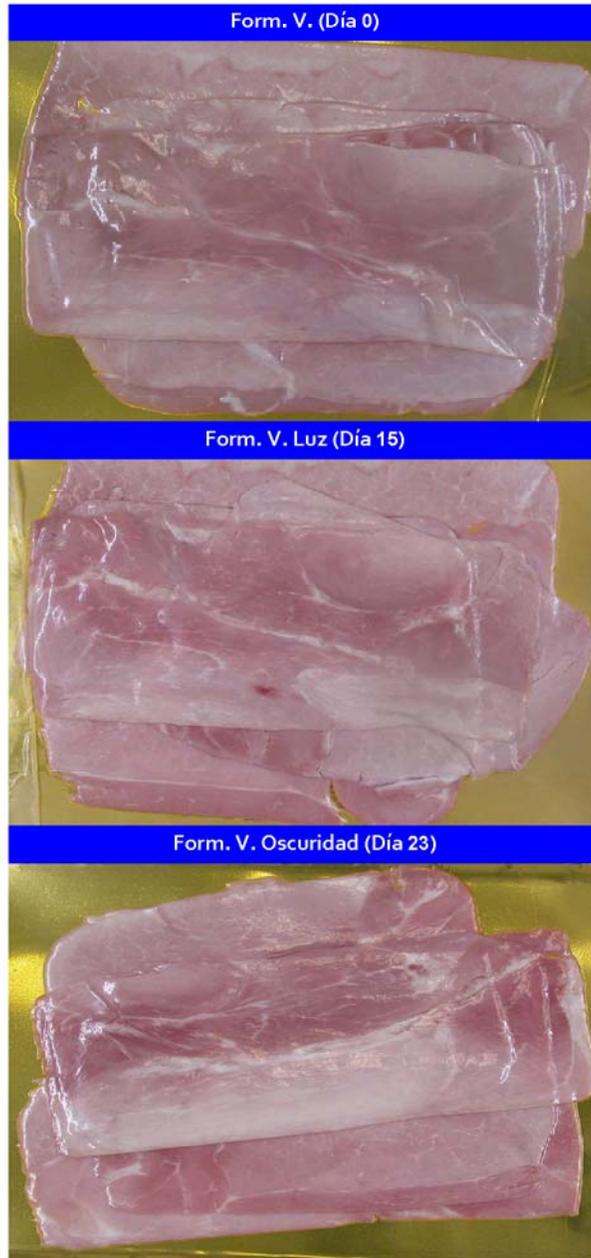


Figura 46. Jamón cocido loncheado de la Form. V, al inicio del periodo de almacenamiento (día 0) y al final del periodo de almacenamiento (día 15, en luz y día 23 en oscuridad).

6.3.1.6. Resumen

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio, el deterioro microbiano fue el factor determinante de la vida útil del jamón cocido elaborado. Desde el punto de vista microbiológico, la vida útil del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de nitritos y fosfatos fue similar a la del jamón cocido elaborado con extractos vegetales y una concentración reducida de fosfatos y se estableció en 15 ó 23 días en función de si el producto se almacenó en luz o en oscuridad, respectivamente. En relación al resto de los parámetros evaluados, ni el tipo de formulación ni las condiciones de almacenamiento implicaron diferencias en las características físico-químicas y sensoriales del jamón cocido, cuya evolución durante el almacenamiento fue similar a la obtenida por otros autores en este tipo de productos.

VII. CONCLUSIONES

7.1. CONCLUSIONES

Del estudio de la reducción de la concentración de aditivos y del tiempo de maduración después del masajeado en la elaboración de jamón cocido (Capítulo 1, Objetivos 1 y 2) puede concluirse que:

- En la elaboración de jamón cocido, la reducción de la concentración de nitritos de 150 mg/kg a 40 mg/kg no es posible debido a que el producto obtenido no fue aceptable sensorialmente.
- Para obtener un producto de calidad, con las características propias del jamón cocido, la eliminación total del uso de fosfatos no es viable.
- En la elaboración de jamón cocido se puede reducir la concentración de nitritos de 150 mg/kg a 80 mg/kg y la concentración de fosfatos de 2.000 mg/kg a 1.000 mg/kg.
- La realización de una etapa de masajeado, bajo las condiciones seleccionadas, junto con un periodo de maduración de 24 horas, son suficientes para la elaboración de jamón cocido con una cantidad reducida de nitritos y fosfatos.

Del estudio de la eliminación del uso de nitritos y/o fosfatos en la elaboración de jamón cocido (Capítulo 2, Objetivos 3 y 4) puede concluirse que:

- La utilización de extractos vegetales (Ext-A) con un cultivo iniciador permite elaborar jamón cocido sin la adición directa de nitritos, con características similares a las del jamón cocido elaborado con nitrito sódico.
- El empleo de citrato sódico, como alternativa al uso de fosfatos permite obtener jamón cocido con características similares al elaborado con fosfatos, aunque con un menor rendimiento.
- Mediante la aplicación de APH no se consiguen suplir todas las acciones que ejercen los fosfatos, por lo que esta estrategia no es viable como alternativa al uso de fosfatos en la elaboración de jamón cocido.
- La utilización de extractos vegetales y citrato sódico, en las condiciones utilizadas en este estudio, permite la obtención de jamón cocido ecológico,

7. Conclusiones

aunque de menor rendimiento y ligazón en comparación con el elaborado con nitrito sódico y fosfatos.

Del estudio de la vida útil del jamón cocido elaborado con una cantidad reducida de nitritos y fosfatos, y del jamón cocido elaborado con extractos vegetales (Capítulo 2, Objetivo 5) puede concluirse que:

- La vida útil del jamón cocido elaborado con una concentración reducida de nitritos y fosfatos es similar a la del jamón cocido elaborado con extractos vegetales y una concentración reducida de fosfatos, siendo 15 ó 23 días en función de si el producto se almacena en luz o en oscuridad, respectivamente.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

8.1. BIBLIOGRAFÍA

A

- AESAN (2008). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre posible presencia de N-Nitrosaminas en productos cárnicos crudo adobados. Número de referencia: AESAN 2007-007. Revista del Comité Científico de la AESAN, 8: 15-49.
- 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.
- Ahn, H.J., Kim, J.H., Jo, C., Lee, J.W., Yook, H.S., Kim, H.Y., Byun, M.W. (2004). Combined effects of gamma irradiation and a modified atmospheric packaging on the physicochemical characteristics of sausage. *Radiation Physics and Chemistry*, 71: 51-54.
- Ahn, H.J., Kim, J.H., Jo, C., Yook, H.S., Lee, H.J., Byun, M.W. (2003). N-nitrosamine reduction in salted and fermented anchovy sauce by ionizing irradiation. *Food Control*, 14: 555-557.
- AICE, Asociación de Industriales de la carne de España. (2009). Consulta realizada el 9/6/2011. http://www.aice.es/v_portal/opportunidades/pl_basta.asp?te=7.
- Aleson-Carbonell, L., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, 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-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Pérez-Alvarez, J.A. (2004). Quality characteristics of a nonfermented dry-cured sausage formulated with lemon albedo. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 84: 2077-2084.
- Aleson-Carbonell, L., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Pérez-Alvarez, J.A. (2003). Utilization of lemon albedo in dry-cured sausages. *Journal of Food Science*, 68: 1826-1830.
- Aleson-Carbonell, L., Fernández-Ginés, J.M., Sayas-Barberá, M.E., Fernández-López, J., Navarro, C., Sendra, E., Pérez-Alvarez, 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.
- Álvarez, C. (1996). La conductividad eléctrica como sistema de detección de carnes de baja calidad en el proceso de elaboración de jamón cocido. *Eurocarne*, 50: 23-36.
- Al-Shuibi, A.M., Al-Abdullah, B.M. (2002) Substitution of nitrite by sorbate and the effect on properties of mortadella. *Meat Science*, 62: 473-478.
- American Meat Institute (1984). Good manufacturing practices. Guide-lines for the production of fresh and cured cooked beef. Washington. DC: American Meat Institute.
- Angsupanich, K., Edde, M., Ledward, D.A. (1999). Effects of high pressure on the myofibrillar proteins of cod and turkey muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 92-99.
- 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 colour stability of sliced ham. *Meat Science*, 22: 283-292.
- Archer, D.L. (2002). Review: Evidence that nitrate and nitrite are beneficial to health. *Journal of Food Protection*, 65/5: 872-875.
- 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.

9. Bibliografía

- Tesis Doctoral Consejo Superior de Investigaciones Científicas e Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Arnau, J., Guerrero, L., Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and the sensory characteristics of dry-cured hams. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77: 387-392.
- Astruc, T., Gatellier, P., Labas, R., Lhoutellier, V.S., Marinova, P. (2010). Microstructural changes in m. *rectus abdominis* bovine muscle after heating. *Meat Science*, 85: 743-751.
- B**
- Baublits, R.T., Pohlman, F.W., Brown, A.H., Johnson, Z.B. (2006a). Enhancement with varying phosphate types, concentrations, and pump rates, without sodium chloride on beef *biceps femoris* quality and sensory characteristics. *Meat Science*, 72: 404-414.
- Baublits, R.T., Meullenet, J.F., Sawyer, J.T., Mehaffey, J.M., Saha, A. (2006b). Pump rate and cooked temperature effects on pork loin instrumental, sensory descriptive and consumer-rated characteristics. *Meat Science*, 72: 741-750.
- Baublits, R.T., Pohlman, F.W., Brown, A.H., Yancey, E.J., Johnson, Z.B. (2006c). Impact of muscle type and sodium chloride concentration, on the quality, sensory and instrumental color characteristics of solution enhanced whole muscle beef. *Meat Science*, 72: 704-712.
- Baublits, R.T., Pohlman, F.W., Brown Jr., A.H., Johnson, Z.B. (2005). Effects of sodium chloride, phosphate type and concentration, and pump rate on beef femoris quality and sensory characteristics. *Meat Science*, 70: 205-214.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Pothakamury, U.R., Palon, P.E., Swanson, B.G. (1998). Procesado de alimentos con alta presión hidrostática. Capítulo 2. En: *Conservación no térmica de alimentos*, pp. 9-50. Editorial Acribia.
- Barbieri, G., Rivaldi, P. (2008). The behaviour of the protein complex throughout the technological process in the production of cooked cold meats. *Meat Science*, 80: 1132-1137.
- 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*, 2nd edn, pp. 452-470. Price J.F. y Schweigert B.S. (eds). Westport, CT: Food and Nutrition Press.
- Bater, B., Descamps, O., Maurer, A.J. (1992). Quality characteristics of hydrocolloid-added oven-roasted turkey breasts. *Journal of Food Science*, 57: 1068-1070.
- Bekhit, A.E.D., Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science* 71: 407-439.
- Benjamin, N., Collins, J. (2003). Nitrite. Capítulo 6. En: *Food Preservatives*, pp. 102-115. Russell, Nicholas J., Gould, Grahame W. (Eds.). Second Edition.
- Bello Gutiérrez, J. (2008a). El producto alimenticio-Definición y calidad. Capítulo 5. En: *Jamón curado*, pp. 319-377. Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Bello Gutiérrez, J. (2008b). La Carne de Cerdo. Capítulo 2. En: *Jamón curado*, pg. 96. Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- 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.
- 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 (2011). Orden SPI/681/2011, de 28 de marzo, por la que se modifican los anexos del Real Decreto 142/2002, de 1 de febrero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. Boletín

- Oficial del Estado, 30/3/2011, N° 76: 33049-33056.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (2007). Real Decreto 1118/2007, de 24 de agosto, por el que se modifica el Real Decreto 142/2002, de 1 de febrero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. Boletín Oficial del Estado 14/09/2007, N° 221: 37533-37544.
- 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 (2002). Real Decreto 142/2002, de 1 de febrero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. Boletín Oficial del Estado 02/2002, N° 44: 6756-6799.
- 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 (1984). Resolución de 26 de Diciembre de 1983, de la Subsecretaría, 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.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (1983). Orden de 29 de junio de 1983 por la que se aprueban 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, 5/07/1983, N° 159: 18679-18687.
- 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. Boletín Oficial del Estado 9/11/1981, N° 268: 26300-26303.
- Boles, J.A., Shand, P.J. (1999). Effects of raw binder system, meat cut and prior freezing on restructured beef. *Meat Science*, 53: 233-239.
- 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.
- Borch, E., Berg, H., 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, pp. 171-186. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza.
- Brewer, M.S., Zhu, L.G., Bidner, B., Mesinger, D.J., McKeith, F.K. (2001) Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Science*, 57: 176-196.
- Breene, W.M. (1975). Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *Journal of Texture Studies*, 6: 53-82.
- Bryan, N.S. (2006). Nitrite in nitric oxide biology: Cause or consequence? A system-based review. *Free Radical Biology & Medicine*, 41: 691-701.
- Byelashov, O.A., Adler, J.M., Geornaras, I., Ko, K.Y., Belk, K.E., Smith, G.C., Sofos, J.N. (2010). Evaluation of brining ingredients and antimicrobials for effects on thermal destruction of *Escherichia coli* O157:H7 in a meat model system. *Journal of Food Science*, 75: 209-217.
- ## 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.

9. Bibliografía

- Calvo, M.M., García, M.L., Selgas, M.D. (2008). Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Science*, 80: 167-172.
- Camisasca, S., Colombo, F., Beretta, G., Foschini, S., Zana, C., Paleari, M.A. (1998). Relazione tra provenienza e alcuni parametri di qualità di prosciutti cotti ottenuti da cosce fresche estere. *Ind. Aliment.*, 37: 992-995.
- Capita, R., Alonso-Calleja, C., Sierra, M., Moreno, B., García-Fernández, M.D.C. (2000). Effect of trisodium phosphate solutions washing on the sensory evaluation of poultry meat. *Meat Science*, 55: 471-474.
- 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.
- Carballo, J., Ayo, J., Jiménez Colmenero, F. (2006). Microbial transglutaminase and caseinate as cold set binders: Influence of meat species and chilling storage. *Food Science and Technology*, 39: 692-699.
- Carrascosa, A.V. (2001). Cultivos iniciadores. Capítulo 44. En: *Enciclopedia de la carne*, pp. 943-959. Volumen II. Editorial Martín & Macías
- Carlez, A., Veciana-Nogues, T., Cheftel, J.C. (1995). Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 28: 528-538.
- Cassens, R.G. (1997). Residual nitrite in cured meat. *Food Technology*, 9: 53-55.
- Cassens, R.G. (1995). Use of sodium nitrite in cured meats today. *Food Technology*, 49: 72-79.
- Cassens, R.G., Graser, M.I., Ito, T., Lee, M. (1979). Reactions of nitrite in meat. *Food Technology*, 33: 46-57.
- Casiraghi, C., Alamprese, C., Pompei, C. (2007). Cooked ham classification on the basis of brine injection level and pork breeding country. *LWT-Food Science and Technology*, 40: 164-169.
- Cava, R., Ladero, L., González, S., Carrasco, A., Ramírez, M.R. (2009). Effect of pressure and holding time on colour, protein and lipid oxidation of sliced dry-cured Iberian ham and loin during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10: 76-81.
- Charley, H. (1987). Estructura de la carne. Capítulo 22. En: *Tecnología de los alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*, pp. 522-585. Editorial Limusa.
- Cheftel, J.C., Culioli, J. (1997). Effects of high pressure on meat: a review. *Meat Science*, 46: 211-236.
- Cheng, Q., Sun, D.W. (2006). Feasibility assessment of vacuum cooling of cooked pork ham with water compared to that without water and with air blast cooling. *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 938-945.
- 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.
- Choi, Y.S., Choi, J.H., Han, D.J., Kim, H.Y., Lee, M.A., Kim, H.W., Jeong, J.Y., Kim, C.J. (2011). Effects of rice bran fiber on heat-induced gel prepared with pork salt-soluble meat proteins in model system. *Meat Science*, 88: 59-66.
- CIE, Commission Internationale de l'Eclairage (1976). *Colorimetry*. Publication no. 15. Vienna, Austria: Bureau Central de la CIE.
- Cierach, M., Modzelewska-Kapitula, M., Szacilo, K. (2009). The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters. *Meat Science*, 82: 295-299.
- Cofrades, S., López-López, I., Ruiz-Capillas, C., Triki, M., Jiménez-Colmenero, F. (2011). Quality characteristics of low-salt restructured poultry with microbial transglutaminase and seaweed. *Meat Science*, 87: 373-380.
- Colmenero, F.J. (2002). Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature. *Trends in Food Science & Technology*, 13: 22-30.
- Cornforth (1994). Colour-its basis and importance. Capítulo 2. En: *Quality attributes and their measurement in meat, poultry and*

- fish products. *Advances in meat research series*, pp. 34-78. Edited by A.M. Person and T.R. Dutson.
- 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 isotermas de sorción en los productos cárnicos. *Eurocarne*, 71: 55-61.
- Crehan, C.M., Troy, D.J., Buckley, D.J. (2000). Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5% salt. *Meat Science*, 55: 123-130.
- D**
- Deda, M.S., Bloukas, J.G., Fista, G.A. (2007). Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters. *Meat Science*, 76: 501-508.
- DeFreitas, Z., Sebranek, J.G., Olson, D.G., Carr, J.M. (1997). Carrageenan effects on salt-soluble meat proteins in model systems. *Journal of Food Science*, 62: 539-543.
- Desmond E.M., Kenny, T.A. (2005). Effect of pelvic suspension and cooking method on the processing and sensory properties of hams prepared from two pork muscles. *Meat Science*, 69: 425-431.
- Desmond, E.M., Kenny, T.A., Ward, P. (2002). The effect of injection level and cooling method on the quality of cooked ham joints. *Meat Science*, 60: 271-277.
- Desmond, E.M., Kenny, T.A., Ward, P., Sun, D.W. (2000). Effect of rapid and conventional cooling methods on the quality of cooked ham joints. *Meat Science*, 56: 271-277.
- Díaz, P., Garrido, M.D., Bañón, S. (2010). The effects of packaging method (vacuum pouch vs plastic tray) on spoilage in a cook-chill pork-based dish kept under refrigeration. *Meat Science*, 84: 538-544.
- Díaz, P., Nieto, G., Garrido, M.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.
- 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, restructured 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 α -tocopheryl acetate supplementation: effects on the colour and oxidative stability of cooked hams. *Meat Science*, 55: 475-482.
- Djujic, I., Radovic, N., Paunovic, L., Beara, M., Jovanovic, G. (1980). Effect of various quantities of nitrite on color intensity and stability in preserved meat pieces. *Technol. Mesa.*, 21: 283-286.
- DOCE, Diario Oficial de las Comunidades Europeas (1991). Reglamento CEE, N° 2092/91, del Consejo de 24 de Junio de 1991, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 22/7/1991, DOL 198.
- Domínguez, M.C. (1997). Tecnología de la elaboración de productos cárnicos curados-cocidos: Jamón y paleta cocida, magros y fiambres. En: *Productos cárnicos y lácteos*, pp. 182-195. Departamento de Higiene y Tecnología de los Alimentos. Universidad León.
- Dong, Q.L., Tu, K., Guo, L.Y., Yang, J.L., Wang, H., Chen, Y.-Y. (2007). The effect of sodium nitrite on the textural properties of cooked sausage during cold storage. *Journal of Texture Studies*, 38: 537-554.
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2008). 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, 18/09/2008, L 250: 1-84.

9. Bibliografía

- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2007a). 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.
- DOUE, Diario Oficial de la Unión Europea (2007b). 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, 7/12/2007, L 322: 12-29.
- Doublier, J.L., Thibault, J.F., Axelos, M.A.V. (2000). Los agentes espesantes y gelificantes de naturaleza glucídica. Capítulo 18. En: Aditivos y auxiliares de fabricación en la industria agroalimentaria, p. 376. Coordinador: Multon J.L. Editorial Acribia, S.A.
- Durand, P. (2002). Ingredientes y aditivos. Capítulo 4. En: Tecnología de los productos de charcutería y salazones, pp. 85-130. Editorial Acribia, S.A.
- E**
- Elvira, (2001). Aditivos alimentarios. Capítulo 33. En: Enciclopedia de la carne, p. 710. Editorial Martín & Macías.
- Ensor, S.A., Ernst, E.A., Sofos, J.N., Schmidt, G.R. (1989). Quality characteristics of restructured turkey meat with variable alginate/calcium-lactate. *Journal of Food Science*, 54: 558-560.
- Eurobarómetro (2010). Riesgos relacionados con los alimentos. Resultados en España, (eurobarómetro 73.5), obtenidos mediante entrevistas personales en el mes de junio de 2010. European Commission. Consulta realizada: 11 de Julio de 2011. <http://www.efsa.europa.eu/en/factsheet/docs/ebeses.pdf>.
- Eyiler, E., Oztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 307-311.
- F**
- Feiner, G. (2006). *Meat products handbook practical science and technology*. Cambridge, England: Woodhead publishing limited.
- 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-Barbera, 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: 710-715.
- Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá M.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. (2007). Orange fibre as potential functional ingredient for dry-cured sausage. *European Food Research and Technology*, 226: 1-6.
- 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 13th World Congress of Food Science and Technology*; Nantes, France.
- Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J.A., Aranda-Catalá, V. (2004a). Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Research & Application*, 29: 67-74.
- Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J.M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J.A. (2004b). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 15: 176-185.
- Fernández-Martín, F., Cofrades, S., Carballo, J., Jiménez-Colmenero, F. (2002). Salt and phosphate effects on the gelling process of pressure/heat treated pork batters. *Meat Science*, 61: 15-23.

- Fernández-Ramírez, M.V., Morales-Munguía, J.C., Montiel-Cota, A., Mendivil Morales, M. (2008). Composición proximal y atributos sensoriales de jamón preparado con tres niveles de inyección de salmuera. *Biotecnia*, 3: 48-58.
- FIAB, (2010). Industria de alimentación y bebidas, sector estratégico de la economía española. Barómetro de Alimentación y Bebidas. Consulta realizada el 17/11/2011. <http://www.fiab.es/es/industria/industria.asp>.
- Fiddler, W., Gates, R.A., Pensabene, J.W., Phillips, J.G., Wierbicki, E. (1981). Investigation on nitrosamines in irradiation sterilized bacon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29: 551-554.
- Fisher, P., Hovman, L.C., Mellet, F.D. (2000). Processing and nutritional characteristics of value added ostrich products. *Meat Science*, 55: 251-254.
- Flick, G.J. (2009). Thought and substantial lab research required. High hydrostatic pressure processing has potential in the meat industry. *Fleischwirtschaft International*, 3: 14-18.
- Flint, O. (1997). Microscopía de los alimentos. Carne, pescado y sus productos. Las fibras musculares y esqueléticas. En: *Microscopía de los alimentos. Manual de métodos prácticos utilizando la microscopía óptica*, pp. 60-61. Editorial Acribia S.A.
- Flores, J. (2010). Función de los nitritos y nitratos y su relación con la nutrición y la salud. *Carne de cerdo & Alimentación Saludable*, 17.
- Flores, N.C., Boyle, E.A.E., Curtis L.K. (2007). Instrumental and consumer evaluation of pork restructured with activa™ or with fibrimex™ formulated with and without phosphate. *LWT-Food Science and Technology*, 40: 179-185
- Flores, J. (2001). Interpretación de las listas positivas de aditivos para uso en la producción de productos cárnicos. *Eurocarne*, 95: 57-66.
- Francis, F.J., Clydesdale, F.H. (1975). *Food Colorimetry: theory and Applications*. AVI Publishing Co., Westport, CT. Francis and Clydesdale.
- Freixanet (2010). Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero. *Metalquimia S.A. Artículos tecnológicos*.
- Frye, C.B., Hand, L.W., Calkins, C.R., Mandigo, R.W. (1986). Reduction or replacement of sodium chloride in a tumbled ham product. *Journal of Food Science*, 51: 836-837.
- Frontela, C., López, G., Ros, G., Martínez, C. (2006). Relación entre los parámetros sensoriales, físico-químicos e instrumentales en el jamón cocido. *AN.VET. (Murcia)* 22: 67-78.
- 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.
- Forrest J.C., Aberle, E.D., Hedrick, H.B., Judge, M.D., Merkel, R.A. (1979). *Propiedades de la carne fresca. Capítulo 8* En: *Fundamentos de ciencia de la carne*, pp. 150-162. Editorial Acribia.
- Fox, J.B. Jr. (1994). The chemistry of meat pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 14: 207-210.
- Fulladosa, E., Serra, X., Gou, P., Arnau, J. (2009). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science*, 82: 213-218.

G

- Garriga, M., Aymerich, M.T., Costa, S., Monfort, J.M., Hugas, M. (2001). Bacterias lácticas para evitar la viscosidad en productos cárnicos cocidos loncheados. Un ejemplo de bioprotección. *Eurocarnte*, 96: 67-71.
- García, M.L., Calvo, M.M., Selgas, M.D. (2009). Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. *Meat Science*, 83: 45-49.
- García, M.L., Caceres, E., Selgas, M.D. (2007). Utilisation of fruit fibres in conventional and reduce-fat cooked-meat sausages. *Journal of Science and Food Agricultural*, 87: 624-631.
- García, I.E., Gago, C.L., Fernández, N.J.L. (2006). *Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. Informe de vigilancia tecnológica*.

9. Bibliografía

- García-Esteban, M., Ansorena, D., Gimeno, O., Astiasarán, I. (2003). Optimization of instrumental colour analysis in dry-cured ham. *Meat Science*, 63: 287-292.
- García-Martínez, J. (2009). Contribution to the study of meat products added with natural ingredients (Ms Thesis EPSO). Orihuela, Alicante, España. Univ. Miguel Hernández.
- 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: 49-58.
- González, H.M., Suárez, M.H., Martínez, A.O. (2009). Structural analysis of beef and ham during the cooking process and storage temperature. *Rev. MVZ Cordoba*, 14: 1803-1811.
- Goutefongea, R., Rampon, V., Nicolas, N., Dumont, J.P. (1995). Meat color changes under high pressure treatment. En: *Proceedings 41st International Congress of Meat Science and Technology*, pp. 384-385, San Antonio, TX.
- Gray, F.L., MacDonald, B., Pearson, A.M., Morton, I.D. (1981). Role of nitrite in cured meat flavour: a review. *Journal of Food Protection*, 44: 302-312.
- ### 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.
- Ham, A.W. (1970). Músculo (tejido muscular). Capítulo 21. En: *Tratado de Histología*, pp. 545-571. Editorial Interamericana, S.A.
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 10: 355-463.
- 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.
- Hogan, E., Kelly, A., Sun, D.W. (2005). High pressure processing of foods: An overview. En: *Da-Wen Sun*, pp. 3-32. (Ed.). *Emerging technologies for food processing*. (Dublin, Irlanda).
- Hong, G.P., Chin, K.B. (2010). Evaluation of sodium alginate and glucono- δ -lactone levels on the cold-set gelation of porcine myofibrillar proteins at different salt concentration. *Meat Science*, 85: 201-209.
- Hong, G.P., Ko, S.H., Choi, M.J., Min, S.G. (2008). Effect of glucono- δ -lactone and κ -carrageenan combined with high pressure treatment on the physicochemical properties of restructured pork. *Meat Science*, 79: 236-243.
- Hönikel, K.O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78: 68-76.
- Hönikel, K.O. (2004). Curing agents. In *Encyclopedia of Meat Sciences*. W.K. Jensen, C. Devine and M. Dikeman (Eds). Elsevier Ltd., Oxford, U.K.
- Hood, D.E. (1984). The chemistry of vacuum and gas packaging of meat. En: *Recent Advances in the Chemistry of Meat*, pp. 213-230. The Royal Society of Chemistry, London, UK. (Ed. Bailey, A.J.).
- Houben, J.H., Gerris, C.V.M. (2002). In vivo or in vitro application of vitamin E and the colour stability of low-oxygen packaged, sliced, pasteurised, differently cured pork shoulder model products. *European Food Research and Technology*, 215: 384-389.
- 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.
- Hu, J., Song, P. (1988). Elimination of N-nitrosamines in food by 60 Co irradiation. IAEA Technical Report Series 448, p.194.
- Hugas, M., Monfort, J.M. (1997). Bacterial starter cultures for meat fermentation. *Food Chemistry*, 59: 547-554.
- Hullberg, A., Lundström, K. (2004). The effects of RN genotype and tumbling on processing yield in cured-smoked pork loins. *Meat Science*, 67: 409-419.
- ### I

- ICMSF, International Commission on Microbiological Specifications for Foods (1983). Microorganismos indicadores. Capítulo 1. En: Microorganismos de los alimentos 1. Técnicas de análisis microbiológicos, pp. 3-14. Editorial Acribia.
- Imeson, A.P. (2000). Carrageenan. En: G. O. Phillips & P. A. Williams (Eds.), Handbook of hydrocolloids, pp. 87-102. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- 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 (1997). Determination of moisture content, ISO 1442:1997 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.
- ISO, Internacional Organization for Standarization (1973). Determination of total fat content, ISO 1443:1973 standard. In International standards meat and meat Product-Genève, Switzerland: International Organization for Standarization.
- Iwasaki, T., Noshiroya, K., Saitoh, N., Okano, K., Yamamoto, K. (2006). Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. Food Chemistry, 95: 474-483.
- ## J
- Jägerstad, M., Skog, K. (2005). Review: Genotoxicity of heat-processed foods. Mutation Research, 574: 156-172.
- Jiménez-Colmenero, F. (2002). Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature. Trends in Food Science and Technology, 13: 22-30.
- Jiménez-Colmenero, F., Fernández, Carballo, P. J., Fernández-Martín, F. (1998). High-pressure-cooked low-fat pork and chicken batters as affected by salt levels and cooking temperature. Journal of Food Science, 63: 656-659.
- Jo, C., Alm, H.J., Son, J.H., Lee, J.W., Byu, M.W. (2003). Packaging and irradiation effect on lipid oxidation, color, residual nitrite content, and nitrosamine formation in cooked pork sausage. Food Control, 14: 7-12.
- Judge, M., Aberle, E., Forrest, J., Hedrich, H. Y., Merkel, R. (1989). Principles of meat science. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Co.
- ## K
- Kärkkäinen, M. (1998). The effect of calcium and phosphate intake on calcium metabolism. Dissertatión. University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology (Nutrition), Yliopistopaino, Helsinki.
- Katsaras, K., Budras, K.-D. (1993). The relationship of the microstructure of cooked ham to its properties and quality. Lebensm.-Wiss.u.Technol., 26: 229-234.
- Katsaras, K. (1992). Microstructure of fermented sausage. Meat Science, 31: 121-134.
- 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.
- Ke, S., Huang, Y., Decker, E.A., Hultin H.O. (2009). Impact of citric acid on the tenderness, microstructure and oxidative

9. Bibliografía

- stability of beef muscle. *Meat Science*, 82: 113-118.
- Kieffer, K.J., Claus, J.R., Wang, H. (2000). Inhibition of pink color development in cooked uncured ground turkey by the addition of citric acid. *Journal of Muscle Foods*, 11: 235-243.
- 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
- Koohmaraie, M. (1994). Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*, 36: 93-104.
- 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.
- Kreyschmidt, 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.
- Kruk, Z.A., Yun, H., Rutley, D.L., Lee, E.J., Kim, Y.J., Jo, C. (2011). The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control*, 22: 6-12.
- 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.
- 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*.
- Larrea, V., Pérez-Munuer, I., Hernando, I., Quiles, A., Llorca, E., Lluch, M.A. (2007). Microstructural changes in Teruel dry-cured ham during processing. *Meat Science*, 76: 574-582.
- Lawrence, T.E., Dikeman, M.E., Hunt, M.C., Kastner, C.L., Johnson, D.E. (2004). Effects of enhancing beef *longissimus* with phosphate plus salt, or calcium lactate plus non-phosphate water binders plus rosemary extract. *Meat Science*, 67: 129-137.
- Lawrie, R.A. (1998). *Meat Science*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd.
- Lawrie, R.A. (1977). Calidad organoléptica de la carne. Capítulo 10. En: *Ciencia de la carne*, pp. 347-351. Editorial Acirbia.
- Ledward, D.A. (1979). Meat. Effect of heating on foodstuffs. En: R.J. Priestley (Ed.), pp. 121-157. London: Applied Science Publishers.
- Lee, E.J., Kim, Y.H., Lee, N.H., Hong, S., Yamamoto, K., Kim, Y.J. (2011). The role of sarcoplasmic protein in hydrostatic pressure-induced myofibrillar protein denaturation. *Meat Science*, 87: 219-222.
- 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.
- Leroy, F., Vasilopoulos, C., Hemelryck, S.V., Falony, G., De Vuyst, L. (2009). Volatile analysis of spoiled, artisan-type, modified-atmosphere-packaged cooked ham stored under different temperatures. *Food Microbiology*, 26: 94-102.
- 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 xylosus* in a model system. *Bioinformatics and Biomedical Engineering*, (ICBBE), 5th International Conference on, pp. 1-4.
- Lijinsky, W. (1999). N-nitroso compounds in the diet. *Mutat. Res.*, 443: 129-138.
- Lindahl, G., Lundström, K., Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to

- the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*, 59: 141–151.
- Littinandana, S., Kenney, P.B., Slider, S.D. (2005). Cryoprotectants affect physical properties of restructured trout during frozen storage. *Journal of Food Science*, 70: 35–42.
- 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.
- Lluch, M.A., Pérez-Muñuera, I., Hernando, I. (2001). Proteins in food structures. En: *Chemical and Functional Properties of Food Components Series*, pp: 16. Edited by Zdzislaw E Sikorski.
- López-Bote, C. (1992). La calidad de la carne. En: *Manual práctico de la carne*, pp. 143-179. Editado por S. Martín Bejerano. Martín y Macías, Plasencia (Caceres).
- López de Torre, G., Carballo García, B.; Madrid Vicente, M.A. (2001). Productos cárnicos cocidos. *Tecnología*, 3ª parte. En: *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*, pp. 133-152. Editorial Mundi-prensa.
- López, N., Martínez, M., Pascual, A., Gisber, M., Aparicio, J., Giner, N., Monleón, C. (2001). Tecnología de elaboración del jamón cocido, Capítulo 64. En: *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*, pp. 1351-1376. Editorial Martín & Macías.
- López, A., López-Munguía, A., Quintero, R. (2002). Transformación y producción de alimentos. En: *Biocología alimentaria*, pp. 153-383. Editorial Limusa.
- López, A.R. (2011). Posibilidades de desarrollo de productos innovadores. *Tendencias en el sector cárnico*. Eurocarne, Nº 193: 52-62.
- Luzón Merino, F., Martín Bejarano (2002). Fabricación de productos cárnicos tratados por el calor. Capítulo 65. En: *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*, pp. 1377-1458. Editorial Martín & Macías.
- M**
- Maca, J.V., Miller, R.K., Maca, J.D., Acuff, G.R. (1997). Microbiological, sensory and chemical characteristics of vacuum-packaged cooked beef top rounds treated with sodium lactate and sodium propionate. *Journal of Food Science* 62: 586–90.
- MacDonald, B., Gray, J.I., Kakuda, Y., Lee, M. L. (1980a). Role of nitrite in cured meat flavor. *Chemical analysis*. *Journal of Food Science*, 45: 889–892.
- MacDonald, B., Gray, J.I., Stanley, D.W., Osborne, W.R. (1980b). Role of nitrite in cured meat flavor: sensory analysis. *Journal of Food Science*, 45: 885–888, 904.
- MacDonald, B., Gray, J.I., Gibbins, I.N. (1980c). Role of nitrite in cured meat flavor: Antioxidant role of nitrite. *Journal of Food Science*, 45: 893–897.
- Macfarlane, J.J. (1985). High pressure technology and meat quality. En: R.A. Lawrie (Ed.). *Developments in meat science*, pp. 155-184. New York: Elsevier Applied Science Publishers.
- Macfarlane, J.J., McKenzie, I.J., Turner, R.H. (1984). Binding of comminuted meat: effect of high pressure. *Meat Science*, 10: 307-320.
- Mandava, R., Fernandez, I., Juillerat, M. (1994). Effect of high hydrostatic pressure on sausage batters. En: *Proceedings 40th International Congress of Meat Science and Technology*, The Hague, Netherlands.
- Marco, A., Navarro, J.L., Flores, M. (2006). The influence of nitrite and nitrate on microbial, chemical and sensory parameters of slow dry fermented sausage. *Meat Science*, 73: 660-673.
- Marcos, B., Aymerich, T., Monfort, J.M., Garriga, M. (2007). Use of antimicrobial biodegradable packaging to control *Listeria monocytogenes* during storage of cooked ham. *International Journal of Food Microbiology*, 120: 152-158.
- Marcos Aguiar, D. (1989). Aditivos, condimentos y especias. Capítulo 2. En: *Estudio y clasificación de los productos cárnicos tratados por el calor*, pp. 26-36. Editorial Ayala. Cárnica 2000.
- 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.

9. Bibliografía

- 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: 6 Junio de 2011. 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
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010b). Estudio de mercado. Observatorio del consumo y la distribución alimentaria. Monográfico de carne de porcino. Resultados Mayo 2010. Consulta realizada: 6 Junio de 2011. http://www.marm.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/Informe_Obs_Carne_de_Porcino_2010_tcm7-8065.pdf.
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009a). Estadísticas 2009. Dirección general de Industria y Mercado alimentario. Subdirección General de Calidad diferenciada y Agricultura Ecológica. Estudio de mercado. Observatorio del consumo y la distribución alimentaria. Monográfico de alimentos ecológicos. Consulta realizada: 6 Junio de 2011. http://www.marm.es/es/alimentacion/temas/la-agriculturaecologica/INFORME_NACIONAL_2009_V_14_tcm7-8092.pdf.
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009b). "Marketing y alimentos ecológicos"-Manual de aplicación a la venta detallista. Resultados 2009. Consulta realizada: 7 de Junio de 2011. http://www.marm.es/es/alimentacion/temas/la-agriculturaecologica/marketing_tom7_8096.pdf.
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008a). Estudio de mercado. Observatorio del consumo y la distribución alimentaria. Monográfico de carne. Resultados Septiembre 2008. Consulta realizada: 6 Junio de 2011. http://www.marm.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/monografico_carne_08_tcm7-7888.pdf.
- MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008b). Hacia dónde camina la Alimentación: Tendencias de consumo y comercialización. Consumo de productos ecológicos. Actualización 2007. Consulta realizada: 6 Junio de 2011. http://www.marm.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/folleto5_tcm7-7899.pdf.
- Martin, (2002). La cocción. Métodos de refrigeración. Capítulo 7. En: Tecnología de los productos de charcutería y salazones, pp. 244-245. Editorial Acribia S.A.
- Martínez-Domínguez, B., Sánchez-Iglesias, M.J., Vaquero-Martín, M., Rubio, B. (2009). Study of sensorial characteristics of a dry fermented sausage "Chorizo" manufactured with different nitrite source or nitrite-free. En: proceedings International Congress of Meat Science and Technology, pp. 606-608.
- Martínez-Navarrete, N., Andrés Grau, A.M., Chiralt Boix, A., Fito Maupoey, P. (1998). Termodinámica y cinética de sistemas de alimento entorno. Universidad Politécnica de Valencia.
- 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.
- Matulis, R.J., McKeith, F.K., Sutherland, J.W., Brewer, M.S. (1995). Sensory characteristics of frankfurters as affected by fat, salt and pH. *Journal of Food Science*, 60: 42-47.
- Matulis, R.J., McKeith, F.K., Sutherland, J.W., Brewer, M.S. (1994). Physical and sensory characteristics of commercially available frankfurters. *Journal of Food Quality*, 17: 263-271.
- Maunder, R., Kennard, B. (2002). Carne y pescado ecológicos: Producción, transformación y comercialización. Capítulo 6. En: Procesado y producción de alimentos ecológicos, pp. 121-126. Editorial Acribia, S.A.
- McGee, M.R., Henry, K.L., Brooks, J.C., Ray, F.K., Morgan, J.B. (2003). Injection of sodium chloride, sodium triphosphate, and sodium lactate improves Warner-Bratzler shear and sensory characteristics of pre-

- cooked inside round roasts. *Meat Science*, 64: 273-277.
- McMillin, K.W. (2008). Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80: 43-65.
- 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. (2009). 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.
- Mielnik, M.B., Olsen, E., Vogt, G., Adeline, D., Skrede, G. (2006). Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat. *LWT-Food Science and Technology*, 39: 191-198.
- 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. <http://www.extension.org/pages/27340/functionality-of-non-meat-ingredients-used-in-enhanced-pork>.
- 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.
- Moeller, S.J., Miller, R.K., Aldredge, T.L., Logan, K.E., Edwards, K.K., Zerby, H.N., Boggess, J.M., Box-Steffensmeier, Stahl, C.A. (2010). Trained sensory perception of pork eating quality as affected by fresh and cooked pork quality attributes and end-point cooked temperature. *Meat Science*, 85: 96-103.
- Monahan, F.J. (2002). Oxidación de los lípidos de la carne y los productos cárnicos: implicaciones y prevención. *Eurocarne*, 100: 1-7.
- Moller, J.K.S., Jensen, J.S., Skibsted, L.H. (2003a). 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.
- Moller, J.K.S., Jakobsen, M., Weber, C.J., Martinussen, T., Skibsted, L.H., Bertelsen, G. (2003b). Optimisation of colour stability of cured ham during packaging and retail display by a multifactorial design. *Meat Science*, 63: 169-175.
- Moller, J.K.S., Jensen, J.J., 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.
- Mor-Mur, M., Yuste, J. (2003). High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: physical properties and sensory analysis. *Meat Science*, 65: 1187-1191.
- Morrissey, P.A., Techivangana, J.Z. (1985). The antioxidant activities of nitrite and nitrosylmyoglobin in cooked meats. *Meat Science*, 14: 175-190.
- 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.
- Mozhaev, V.V., Heremans, K., Frank, J., Massons, P., Balny, C. (1994). Exploiting the effects of high hydrostatic pressure in biotechnological applications. *Tibrech*, 12: 493-497.

N

- Nannerup, L.D., Jakobsen, M., Berg, F., Jensen, J.S., Moller, J.K.S., Bertelsen, G. (2004).

9. Bibliografía

- Optimizing colour quality of modified atmosphere packed sliced meat products by control of critical packaging parameters. *Meat Science*, 68: 577-585.
- National Academy of Sciences (1981). The health effects of nitrate, nitrite and n-nitroso compounds. Washington, DC: National Academy Press.
- Nowak, B., Von Mueffling, T., Grotheer, J., Klein, G., Watkinson, B.M. (2007). Energy content, sensory properties, and microbiological shelf life of German bologna-type sausages produced with citrate or phosphate and with inulin as fat replacer. *Journal of Food Science*, 72: 629-638.
- Núñez, E. (2004). Comercialización estratégica de la carne de cerdo raza large White. Proyecto de graduación. Guayaquil (Ecuador).
- 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.
- Nunes, H., Grébol, N. (2011). Las altas presiones, una realidad industrial al alcance de todas las empresas cárnicas. *Eurocarne*, 202: 1-6.
- Nyati, H. (2000). An evaluation of the effect of storage and processing temperature on the microbiological status of sous vide extended shelf life products. *Food Control*, 11: 471-476.
- O**
- Olmos, J.V.L. (2006). Disección anatómica. Miología (despiece muscular). Capítulo 9. En: Atlas Monte Nevado de anatomía del jamón serrano, p. 96. Edita Jamones Segovia, S.A.
- Ordóñez, M. (2001). Influencia de la materia prima sobre la textura del jamón curado. Tesis Doctoral. Universidad de Burgos. Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos.
- Ordóñez, J.A., Hierro, E.M., Bruna, J.M., Hoz, L. (1998). Changes in the components of dry-fermented sausages during ripening. *Critical Review in food Science and technology*, 39: 329-367.
- 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.
- Pandurangi, S., Balasubramaniam, V.M. (2005). High-pressure processing of salads and ready meals. Da-Wen Sun, *Emerging Technologies for Food Processing*: Elsevier Academic Press.
- 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.
- Pegg, R.B, Shahidi, F. (2000). Nitrite curing of meat. The N-nitrosamine problem and nitrite alternatives. *Food and Nutrition Press*.
- Peirson, M.D., Tat, Y.G., Holley, R.A. (2003). Aerococci and carnobacteria cause discoloration in cooked cured bologna. *Food Microbiology*, 20: 149-158.
- Pensaben, W., Gates, R.A., Jenkis, R.K., Fiddler, W. (1987). Effects of cesium-137 radiation on the formation of N-Nitrosopirrolidone in bacon. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 35: 4706-4713.
- Pérez-Alvarez, J.A., Sánchez-Rodríguez, M.E., Fernández-López, J., Gago-Gago, M.A., Ruíz-Peluffo, M.C., Rosmini, M.R., Pagán-Moreno, M.J., López-Santovenia, F., Aranda-Catalá, V. (1997). Chemical and colour characteristics of lomo embuchado during salting seasoning. *Journal of Muscle Foods*, 8: 395-411.
- Pérez-Rodríguez, F., Catro, R., Posada-Izquierdo, G.D., Valero, A., Carrasco, E., García-Gimeno, R.M., Zurera, G. (2010). Evaluation of hygiene practices and microbiological quality of cooked meat products during slicing and handling at retail. *Meat Science*, 86: 479-485.
- Pexara, E.S., Metaxopoulos, J., Drosinos, E. H. (2002). Evaluation of shelf life of cured, cooked, sliced turkey fillets and cooked pork sausages 'puroski' stored under vacuum and modified atmospheres at +4 and +10°C. *Meat Science*, 62: 33-43.

- 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. (2003). Binding and textural properties of beef gels processed with λ -carrageenan, egg albumin and microbial transglutaminase. *Meat Science*, 63: 317-324.
- Pietrasik, Z., Li-Chan, E.C.Y. (2002). Binding and textural properties of beef gels as affected by protein, λ -carrageenan and microbial transglutaminase addition. *Food Research, International*, 35: 91-98.
- 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.
- Pietrzak, D., Fonberg-Broczek, M., Mucka, A., Windyga, B. (2007). Effects of high pressure treatment on the quality of cooked pork ham prepared with different levels of curing ingredients. *High Pressure Research*, 27: 27-31.
- Poulter, R.G., Ledward, D.A., Godber, S., Hall, G., Rowlands, B. (1985). Heat stability of fish muscle proteins. *Journal of Food Technology*, 20: 203-217.
- 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 α -tocopherol. *Meat Science*, 62: 479-483.
- Pouttu, P., Puolanne, E. (2004). A procedure to determine the water-binding capacity of meat trimmings for cooked sausage formulation. *Meat Science*, 66: 329-334.
- Prabhu, G.A., Sebranek, J.G. (1997). Quality characteristics of ham formulated with modified corn starch and kappa-carrageenan. *Journal of Food Science*, 62: 198-202.
- Prestat, C., Jensen, J., McKeith, F.K., Brewer, M.S. (2002). Cooking method and endpoint temperature effects on sensory and color characteristics of pumped pork loin chops. *Meat Science*, 60: 395-400.
- Price, J.F., Schweigert, B.S. (1987). *The Science of Meat and Meat Products*. Food & Nutrition Press, Westport, C.T.
- 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.
- Purroy, F., Tonello, C., De Celis, C., Alonso, M.J., Hernando, A. (2009). Considered as an alternative technique. An emerging, non-thermal processing technique for processed meats keeps on evolving. *Fleischwirtschaft International*, 3: 26-29.

R

- Ranken, M.D. (2003). Elaboración de productos cárnicos. Capítulo 2. En: *Manual de Industrias de la Carne*, pp. 38-41. Ediciones Mundi-Prensa.
- Ranken, M.D. (2000). Processing principles and curing (1st ed. Handbook of meat product technology (Vol. 11, pp. 25-58). Blackwell Science Ltd.
- Rakesh, K.S., Singh, N. (2005). Quality of packaged food. En: *Innovations in Food Packaging*, pp. 24-40. Edited by Jung H. Han. Food Science and Technology International Series.
- 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: 68-71.
- Reichert, J.E. (1988). Jamón Cocido. En: *Tratamiento térmico de los productos cárnicos*, pp. 132-149. Editorial Acirbia, S.A.
- Rhee, K.S., Ziprin, Y.A., Calhoun, M.C. (2001). Antioxidative effects of cottonseed meals as evaluated in cooked meat. *Meat Science*, 58: 117-123.
- Rivas-Cañedo, A., Juez-Ojeda, C., Nuñez, M., Fernández-García, E. (2011). Effects of high-pressure processing on the volatile compounds of sliced cooked pork shoulder during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 124: 749-758.
- Rivas-Cañedo, A., Fernández-García, E., Nuñez, M. (2009). Volatile compounds in

9. Bibliografía

- fresh meats subjected to high pressure processing: effect of the packaging material. *Meat Science*, 81: 321-328.
- Rodríguez, H., Curiel, J.A., Landete, J.M., De las Rivas B., López de Felipe, F., Gómez-Cordovés, C., Mancheño, J.M., Muñoz, R. (2009). Food phenolics and lactic bacteria. *Internacional Journal of Food Microbiology*, 132: 79-90.
- Romero de Ávila, M.D., Ordóñez, J.A., de la Hoz, L., Herrero, A.M., Cambero, M.I. (2010). Microbial transglutaminase for cold-set binding of unsalted/salted pork models and restructured dry ham. *Meat Science*, 84: 747-754.
- Roopa, B.S., Bhattacharya, S. (2008). Alginate gels: I. Characterization of textural attributes. *Journal of Food Engineering* 85: 123-131.
- Rovere, P. (2001). Industrial-scale high pressure processing of foods. En: M.E.G. Hendrickx & D. Knorr (Eds.), *Ultra high pressure treatments of foods*, pp. 251-268. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Rubio, B., Sánchez, M.J., Vaquero, M., Martínez, B. (2009). Elaboración de productos cárnicos cocidos ecológicos. *Eurocarne*, 66: 66-76.
- Rubio, B., Martínez, B., García-Cachán, M^a D., Rovira, J., Jaime, I. (2007a). Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef "Cecina de León". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8: 102-110.
- Rubio, B., Martínez, B., García-Cachán, M.D., Rovira, J., Jaime, I. (2007b). The effects of high pressure treatment and of storage periods on the quality of vacuum-packed "Salchichón" made of raw material enriched in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8: 180-187.
- Ruusunen, M., Puolanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70: 531-541.
- Ruusunen, M., Vainionpää, J., Lyly, M., Lähteenmäki, 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., Lähteenmäki, L., Niemistö, M., Ahvenainen, R. (2003a). Physical and sensory properties of low-salt phosphate-free frankfurters composed with various ingredients. *Meat Science*, 63: 9-16.
- Ruusunen, M., Vainionpää J., Puolanne, E., Lyly, M., Lähteenmäki, L., Niemistö, M., Ahvenainen, R. (2003b). Effect of sodium citrate, carboxymethyl cellulose and carrageenan levels on quality characteristics of low-salt and low-fat bologna type sausages. *Meat Science*, 64: 371-381.
- Ruusunen, M. (2002). Sodium reduction in cooked meat products by using commercial potassium phosphate mixtures. *Agricultural and Food Science in Finland*, II: 199-207.

S

- Saccani, G., Parolari, G., Tanzi, E., Barbuti, S. (2004). Sensory and microbiological properties of dried hams treated with high hydrostatic pressure (HP). *Proceedings 50 th International Congress of Meat Science and Technology*.
- Santos, C., Ordoñez, J.A. (2004). Physicochemical characteristics of an alpha-linolenic acid and alpha-tocopherol-enriched cooked ham. *Food Chemistry*, 88: 123-128.
- Samelis, J., Kakouri, A., Rementzis, J. (2000). Selective effect of the product type and the packaging conditions on the species of lactic acid bacteria dominating the spoilage microbial association of cooked meats at 4 °C. *Food Microbiology*, 17: 329-340.
- Sammel, L.M., Claus, J.R., Greaser, M.L., Richards, M.P. (2006). Investigation of mechanisms by which sodium citrate reduces the pink color defect in cooked ground turkey. *Meat Science*, 72: 585-595.
- Sammel, L.M., Claus, J.R. (2006). Citric acid and sodium citrate effects on pink color development of cooked ground turkey irradiated pre- and post-cooking. *Meat Science*, 72: 567-573.
- Sammel, L.M., Claus, J.R. (2003). Whey protein concentrates effects on pink color development in a cooked ground turkey breast model system. *Meat Science*. 65: 1293-1299.

- Sangronis, E., Pothakamury, U., Ramos, A.M., Ibarz, A., Barbosa-Cánovas, G.V. (1997). La alta presión hidrostática: una alternativa en el procesamiento no térmico de alimentos. *Alimentaria*, Junio: 33-43.
- Sánchez, M.J., Martínez, B., Rubio, B., Vaquero, M. (2010). The use of high pressure processing as an alternative to phosphates in the manufacture of cooked ham. En: *Proceedings 56 th Internacional Congress of Meat Science and Technology*, E 075.
- 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: 2401-2407.
- Sárraga, C., Guàrdia, M.D., Díaz, I., Guerrero, L., García 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 (DHA) and α -tocopheryl acetate. *Meat Science*, 76: 377-384.
- Sasse, A., Colindres, P., Brewer, M.S. (2009). Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of cooked, frozen pork patties. *Journal of Food Science*, 74: 30-35.
- 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. *Eur Food Res Technol*, 215: 183-188.
- Schnepf, M.I. (1992). Protein-water interactions. En *Biochemistry of Food Proteins*, pp. 1-33. Ed. B.J.F. Hudson. Elsevier Science, London.
- Sebranek, J.G., Bacus, J. (2007a). Natural and organic cured meat products: Regulatory manufacturing, marketing, quality and safety issues. *American Meat Science Association White Paper Series*, 1: 1-15.
- Sebranek, J.G., Bacus, J. (2007b). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77: 136-147.
- Sebranek, J.G., Fox, J.B. Jr. (1985). A review of nitrite and chloride chemistry: Interactions and implications for cured meats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36: 1169-1182.
- Selani, M.M., Contreras-Castillo, C.J., Shirahigue, L.D., Gallo, C.R., Plata-Oviedo, M., Montes-Villanueva, N.D. (2011). Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. *Meat Science*, 88: 397-403.
- Shahidi, F., Samaranyaka, A.G.P. (2004). En: *Brine, Encyclopedia of Meat Sciences*. Vol. I, pp. 366-374. W.K. Jensen, C. Devine and M. Dikeman (Eds). Elsevier Ltd., Oxford, U.K.
- Shahidi, F., Synowiecki, J. (1997). Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications. *Food Chemistry*, 60: 9-16.
- Shahidi, F., Synowiecki, J. (1996). Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications. *Food Chemistry*, 60: 29-32.
- 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. (1991). Developing alternative meat-curing systems, review. *Trends Food Science Technology*, 219-222.
- Shahidi, F., Pegg R.B. (1990). Colour characteristics of cooked cured-meat pigment and its application to meat. *Food Chemistry*, 38: 61-68.
- Sikes, A., Tornberg, E., Tume, R. (2010). A proposed mechanism of tenderising post-rigor beef using high pressure-heat treatment. *Meat Science*, 84: 390-399.
- Sikes, A.L., Tobin, A.B., Tume, R.K. (2009). Use of high pressure to reduce cook loss and improve texture of low-salt beef sausage batters. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10: 405-412.
- Sindelar, J.J., Terns, M.J., Meyn, E., Boles, J.A. (2010). Development of a method to manufacture uncured, no-nitrate/nitrite-added whole muscle jerky. *Meat Science*, 86: 298-303.

9. Bibliografía

- Sindelar, J.J. (2009). Thorough understanding of the basics need. *Feischwirtschaft International*, 3: 39-43.
- Sindelar, J.J., Cordray, J.G., Sebranek, J.G., Love, J.A., Ahn, D.U. (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: 324-331.
- Sindelar, J.J., Cordray, J.G., Sebranek, J.G., Love J.A., Ahn, D.U. (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.
- Sisson, S.Y., Grossman, J. (1982). *Miología de los porcinos*. Capítulo 39. En: *Anatomía de los animales domésticos*, pp. 1384-1397. Ed. Salvat Editor.
- 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.
- Souza, C.M., Boler, D.D., Clark, D.L., Kutzler, L.W., Holmer, S.F., Summerfield, J.W., Cannon, J.E., Smit, N.R., McKeith, F.K., Killefer J. (2011). The effects of high pressure processing on pork quality, palatability, and further processed products. *Meat Science*, 87: 419-427.
- Stadnik, J., Dolatowski, Z.J., Baranowska, H.M. (2008). Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (*m. semimembranosus*) during ageing. *Food Science and Technology*, 41: 2151-2158.
- Stanley, N.F. (1990). Carrageenans. En P. Harris (Ed.), *Food gels*, pp. 53-78. London: Elsevier Science Publishers Ltd.
- 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.
- Stekelenburg, F.K., Kant-Muermans, M.L.T. (2001). Effects of sodium lactate and other additives in a cooked ham product on sensory quality and development of a strain of *Lactobacillus curvatus* and *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Food Microbiology*, 66: 197-203.
- Stephens, J.W., Dikeman, M.E., Unruh, J.A., Haub, M.D., Tokach, M.D. (2006). Effects of pre-rigor injection of sodium citrate or acetate, or post-rigor injection of phosphate plus salt on post-mortem glycolysis, pH, and pork quality attributes. *Meat Science*, 74: 727-737.
- 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.
- Suzuki, A., Suzuki, N., Ikeuchi, Y., Saito, M. (1991). Effects of high pressure treatment on the ultrastructure and solubilization of isolated myofibrils. *Agricultural and Biological Chemistry*, 55: 2467-2473.
- Suzuki, T., Macfarlane, J.J. (1984). Modification of the heat-setting characteristics of myosin by pressure treatment. *Meat Science*, 11: 263-274.
- 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

- 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. (2011a). 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.
- Terns, M.J., Milkowski, A.L., Rankin, S.A., Sindelar, J.J. (2011b). Investigating the effect

- of incubation time and starter culture addition level on quality attributes of indirectly cured, emulsified cooked sausages. *Meat Science*, 88: 454-461.
- Therkelsen, G.H. (1993). Carrageenan. En: R. L. Whistler & J. N. BeMiller (Eds.), *Industrial gums: polysaccharides and their derivatives*, pp. 145-180. San Diego: Academic Press Inc.
- Trius, A., Sebranek, J.G. (1996). Carrageenans and their use in meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36: 69-85.
- Toldrá, F., Rico, E., Flores, J. (1992). Activities of pork muscle proteases in model cured meat systems. *Biochimie*, 74: 291-296.
- Tompkin, R.B. (2005). Nitrite. En: *Antimicrobials in Food*. P.M. Davidson, J.N. Sofos y A.L. Branene CRC Press, Taylor & Frances Group, Boca Raton, FL.
- Touraille, C., Goutefongea, R. (1985). Effect of nitrite level on cooked cured pork. *Science Aliments*, 5: 315-318.
- 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., Wiczcerek, 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**
- 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.
- 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 87027:1998 (1998). Análisis sensorial. Identificación y selección de descriptores para la elaboración de un perfil sensorial por métodos multivariantes. En: *Análisis sensorial/ AENOR*. 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).
- 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. (AENOR).
- Ustunol, Z., Xiong, Y.L., Means, W.J., Decker, E.A. (1992). Forces involved in mixed pork myofibrillar protein and calcium alginate gels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40: 577-580.
- V**
- Vaquero-Martín, M., Sánchez-Iglesias, M.J., Martínez, B., Rubio, B. (2009). Effect of manufacturing with vegetable juice powder as source of nitrites on the shelf life of cooked loin. En: *proceedings Second SAFE Consortium International Congress on Food Safety*, pg. 161.
- Válková, V., Saláková, A., Buchtová, H., Tremlová, B. (2007). Chemical, instrumental and sensory characteristics of cooked pork ham. *Meat Science*, 77: 608-615.
- Van Der Schee, H.A. (1998). The nitrate content of vegetables of the Dutch Market in 1996, Amsterdam: Inspectorate for Health Protection.
- Vandendriessche, F. (2008). Meat products in the past, today and in the future. *Meat Science*, 78: 104-113.
- Vann, D.G., Mireles Dewitt, C.A. (2007). Evaluation of solubilized proteins as an alternative to phosphates for meat enhancement. *Journal of Food Science*, 72: 72-77.
- Vasilopoulos, C., De Maere, H., De Mey, E., Paelinck, H., De Vust, L., Leroy, F. (2010). Technology-induced selection towards the spoilage microbiota of artisan-type cooked ham packed under modified atmosphere. *Food Microbiology*, 27: 77-84.

9. Bibliografía

- 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 cultured pendent and culture-independent approaches. *Journal of Applied Microbiology*, 1364-5072.
- Ventanas, S., Martín, D., Ventanas J., Ruiz J., (2004a). Nitratos, nitritos y nitrosaminas en productos cárnicos (II). *Eurocarne*, 130: 37-49.
- Ventanas, S., Martín, D., Estévez, M., Ruiz, J., (2004b). Nitratos, nitritos y nitrosaminas en productos cárnicos (I). Estrategias de actuación y métodos de análisis de nitrosaminas. *Eurocarne*, 129: 95-114.
- Verbeken, D., Neirinck, N., Van Der Meeren, P., Dewettinck, K. (2005). Influence of κ -carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins. *Meat Science*, 70: 161-166.
- Vercammen, A., Kristof, G.A., Vanoirbeek, Lurquin, I., Steen, L., Goemaere, O., Szczepaniak, S., Paelinck, H., Hendrickx, M.E.G., Michiels, C.W. (2011). Shelf-life extension of cooked ham model product by high hydrostatic pressure and natural preservatives. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 12: 407-415.
- Vermeiren, L., Devleghere, 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 modol cooked ham. *Food Microbiology*, 23: 511-518.
- Vermeiren, L., Devleghere, 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.
- Villacís, M.F., Rastogi, N.K., Balasubramaniam, V.M. (2008). Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT-Food Science and Technology*, 41: 836-844.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J.A. (2010a). 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, J., Pérez-Álvarez, J.A. (2010b). 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., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., 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., 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: 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.
- Viuda-Martos, M., Baeza-Rodríguez, M.C., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Fernández-López, J.A., Pérez-Álvarez, J.A. (2008). Efecto de la adición de fibra de naranja y aceite esencial de orégano sobre las características físicas, químicas, fisico-químicas y sensoriales de un embutido modelo de pasta fina. *Eurocarne*, 166: 79-90.

Y

- Yamamoto, K., Yoshida, T., Iwasaki T. (2002). Hydrostatic pressure-induced solubilization and gelation of chicken myofibrils. *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology*, 461-468.
- Yamamoto, K., Yoshida, Y., Morita, J., Yasui, T. (1994). Morphological and physicochemical changes in the myosin molecules induced by hydrostatic pressure. *Journal of Biochemistry*, 116: 215-220.

- Yamamoto, K., Miura, T., Yasui, T. (1990). Gelation of myosin filament under high hydrostatic pressure. *Food Structure*, 9: 269-277.
- Yao, Y., Sang, W., Zhou, M., Guixing, R. (2010). Phenolic composition and antioxidant activities of 11 celery cultivars. *Journal of Food Science*, 75: 9-13.

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.
- 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.
- Westphalen, A.D., Briggs, J.L., Lonergan, S.M. (2006). Influence of muscle type on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat-induced gelation. *Meat Science*, 72: 697-703.
- Wright, S., McCrea, D. (2002). *Procesado y producción de alimentos ecológicos*. Editorial Acirbia, S.A.

X

- Xargayó, M., Lagares, J., Fernández, E., Sanz, D. (2009). Compactación de la carne durante la embutición: un nuevo avance en la automatización de los productos cocidos de alta calidad. *Eurocarne*, 180: 1-6.
- Xargayó, M., Lagares, J. (2008). Rentabilidad de las líneas de fabricación de jamón cocido: adaptación a diferentes ciclos de maduración. *Eurocarne*, 172: 56-62.
- Xargayó, M., Lagares, J., Fernández, E., Borrel, D., Sanz, D. (2007). Optimización del rendimiento del loncheado por medio de la tenderización. *Eurocarne*, 161: 65-74.
- 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., Noel, D.C., Moody, W.G. (1999). Textural and sensory properties of low-fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt. *Journal of Food Science*, 64: 550-554.

Z

- Zamri, A.I., Ledward, D.A., Frazier, R.A. (2006). Effect of combined heat and high pressure treatments on the texture of chicken breast muscle (*Pectoralis fundus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 2922-2996.
- 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, X., Kong, B., Xiong, Y.L. (2007). Production of cured meat color in nitrite-free Harbin red sausage by *Lactobacillus fermentum fermentatio*. *Meat Science*, 77: 593-598.