

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
Departamento de Tecnología de Alimentos



**SALADO Y DESCONGELADO SIMULTÁNEO EN SALMUERA
PARA LA OBTENCIÓN DE JAMÓN CURADO DE CERDO DE
RAZA IBÉRICA.**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Ing. William Albarracín Hernández

Dirigida por:

Dr. José M. Barat Baviera

Dr. Raúl Grau Meló

Valencia, junio de 2009



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

D. JOSÉ MANUEL BARAT BAVIERA, PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD Y **D. RAÚL GRAU MELÓ**, PROFESOR CONTRATADO DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

CONSIDERAN: que la memoria titulada **SALADO Y DESCONGELADO SIMULTÁNEO EN SALMUERA PARA LA OBTENCIÓN DE JAMÓN CURADO DE CERDO DE RAZA IBÉRICA**, que presenta **D. WILLIAM ALBARRACÍN HERNÁNDEZ** para aspirar al grado de doctor por la universidad politécnica de valencia, y que ha sido realizado bajo su dirección en el departamento de tecnología de alimentos de la universidad politécnica de valencia, reúne las condiciones adecuadas para constituir su tesis doctoral, por lo tanto **AUTORIZAN** al interesado para su presentación.

Valencia, 1 de junio de 2009

Fdo.: José Manuel Barat Baviera
Director de tesis

Fdo.: Raúl Grau Meló
Director de tesis

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a José Manuel Barat, ya que gracias a él llegué hasta este punto, gracias por sus palabras amigables y por su apoyo en todo momento. Nunca olvidaré que gracias a sus consejos opté por la carrera docente

A Raúl Grau Meló por su incansable esfuerzo a lo largo del desarrollo de esta tesis, por estar pendiente de cada detalle.

A mi familia, todos ellos han estado ahí, apoyándome, escuchándome. Fueron el motor para arrancar con este proyecto.

A mis amigos..... ustedes saben quienes son y saben como les agradezco toda la ayuda que me han brindado.

En general quiero agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma han colaborado en la realización de esta tesis doctoral.

A MI FAMILIA

RESUMEN

El uso de la técnica de salado-descongelado simultáneo en salmuera saturada se ha mostrado como una alternativa al proceso tradicional (descongelación en cámara frigorífica + posterior salado con sal sólida) de elaboración de jamón curado a partir de pernils congelados de cerdo blanco, reduciendo el tiempo de salado así como la generación de efluentes.

Es por ello que en la presente Tesis Doctoral se pretendió estudiar la posibilidad de aplicar la técnica de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada al proceso de elaboración de jamón ibérico procedente de pernils congelados de cerdos de raza ibérica.

El desarrollo de la experiencia se basó inicialmente en la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de los jamones elaborados mediante el proceso tradicional, empleando materia prima fresca y congelada, en cada una de las etapas del proceso. En base a los resultados obtenidos, se procedió al descongelado/salado simultáneo en salmuera saturada, de pernils a 3 diferentes tiempos de proceso con y sin la aplicación de pulsos de vacío. Posteriormente, y a partir de las condiciones obtenidas se procedió al salado de jamones, estudiándose la influencia de este tipo de salado sobre las etapas de post-salado y curado, así como sobre las características del producto final.

En base a los resultados se pudo afirmar que el empleo de la técnica de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío puede ser una alternativa a introducir en el proceso de elaboración de Jamón Ibérico.

ABSTRACT

The simultaneous saturated brine thawing/salting technique is shown as an alternative to the traditional production of dry-cured hams (thawing in cold storage and posterior salting in solid salt pile), using raw material from white pigs. The main advantage of this technique is the decrease in salting times and the reduction in effluents generated.

The aim of this doctoral thesis was to explore the possibility of applying simultaneous thawing/salting techniques in iberian dry-cured ham processing using frozen raw material.

The study started with the characterization of the physicochemical parameters at each stage of the traditional processing of dry-cured ham with fresh and frozen raw material. Based on the obtained results hams were salted with a simultaneous saturated brine thawing/salting process, using 3 different processing times (with and without vacuum pulse application). Then, using the obtained conditions, hams were salted and the influence of this type of salting technique on the post-salting and curing stages was studied, as well as the characteristics of the final product.

Based on the results it was established that the simultaneous saturated brine salting/thawing technique used (with and without vacuum pulse application), could be an alternative to the traditional salting stage in the production of dry-cured Iberian ham

RESUM

L'ús de la tècnica de salat-descongelat simultani en salmorra saturada s'ha mostrat com una alternativa al procés tradicional (descongelació en cambra frigorífica + posterior salat amb sal sòlida) d'elaboració de pernil curat a partir de pernils congelats de porc blanc, reduint el temps de salat així com la generació d'efluents.

És per això que en la present Tesi Doctoral es va pretendre estudiar la possibilitat d'aplicar la tècnica de salat-descongelat simultani en salmorra saturada al procés d'elaboració de pernil ibèric procedent de pernils congelats de porcs de raça ibèrica.

El desenvolupament de l'experiència es va basar inicialment en la caracterització dels paràmetres fisicoquímics dels pernils elaborats per mitjà del procés tradicional, gastant matèria primera fresca i congelada, en cada una de les etapes del procés. Basant-se en els resultats obtinguts, es va procedir al descongelat/salat simultani en salmorra saturada, de pernils a 3 diferents temps de procés amb i sense l'aplicació de polsos de buit. Posteriorment, i a partir de les condicions obtingudes es va procedir al salat de pernils, estudiant-se la influència d'aquest tipus de salat sobre les etapes de post-salat i curat, així com sobre les característiques del producte final.

Basant-se en els resultats es va poder afirmar que l'ús de la tècnica de salat/descongelat simultani en salmorra saturada amb i sense aplicació d'un pols de buit pot ser una alternativa a introduir en el procés d'elaboració de Pernil Ibèric.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Conservación de los alimentos	1
1.1.1.	Propiedades de la sal en los alimentos	4
1.1.2.	Efecto de la sal en la percepción del sabor	5
1.1.3.	Influencia de la sal en la capacidad de retención de agua (CRA)	6
1.1.4.	Influencia de la sal en el comportamiento de las proteínas.....	8
1.1.5.	Influencia de la sal sobre las grasas	11
1.2.	Aplicaciones de la sal en la industria alimentaria	12
1.2.1.	Sal en vegetales	12
1.2.2.	Sal en productos lácteos	13
1.2.3.	Sal en pescado y derivados	14
1.2.4.	Sal en productos cárnicos	14
1.3.	El proceso de salado	16
1.3.1.	Tendencias en el proceso de salado	20
1.3.2.	Expresiones de la concentración de sal	23
1.4.	Elaboración del jamón ibérico curado	25
1.4.1.	Salado	26
1.4.2.	Post-salado	29
1.4.3.	Secado	31
1.4.4.	Maduración en bodega	32
1.5.	Variables del proceso de elaboración del jamón	34
1.5.1.	Materia prima	34
1.5.1.1.	<i>Obtención del pernil</i>	<i>34</i>
1.5.1.2.	<i>pH de la materia prima</i>	<i>35</i>
1.5.1.3.	<i>Almacenamiento</i>	<i>37</i>

Índice de contenidos

1.5.2.	Agentes de curado	38
1.5.2.1.	<i>Cloruro de sodio</i>	38
1.5.2.2.	<i>Nitratos y nitritos</i>	39
1.5.2.3.	<i>Agentes reductores</i>	40
1.5.3.	Presión	41
1.6.	Actividad enzimática en el jamón curado	42
1.6.1.	Acción de las proteasas	43
1.6.1.1.	<i>Endopeptidasas musculares</i>	44
1.6.1.2.	<i>Exopeptidasas musculares</i>	44
1.6.2.	Acción de las lipasas	45
1.6.2.1.	<i>Lipasas del tejido adiposo</i>	45
1.6.2.2.	<i>Lipasas musculares</i>	45
2.	JUSTIFICACIÓN	47
3.	OBJETIVOS	49
3.1.	Objetivo general	49
3.2.	Objetivos específicos	49
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	50
4.1.	Pan de trabajo	51
	<i>Fase I. Caracterización de la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico, así como sobre su calidad final.....</i>	51
	<i>Fase II. Aplicación de la tecnología de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, al proceso de elaboración de jamón ibérico a partir de materia prima congelada.....</i>	51

a.	<i>Caracterización del proceso de descongelación de los pernils por inmersión en salmuera saturada</i>	52
b.	<i>Caracterización de la etapa de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío.....</i>	52
c.	<i>Caracterización de la etapa de post-salado de jamones salados en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío.....</i>	53
d.	<i>Estudio de la influencia del proceso de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, sobre el producto final.....</i>	53
4.2.	Materia prima	55
4.2.1.	El pernil.....	55
4.3.	Metodología	57
4.3.1.	<i>Fase I. Caracterización de la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico, así como sobre su calidad final.....</i>	57
4.3.2.	<i>Fase II. Aplicación de la tecnología de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, al proceso de elaboración de jamón ibérico a partir de materia prima congelada.....</i>	59
a.	<i>Caracterización del proceso de descongelación de los pernils por inmersión en salmuera saturada</i>	59
b.	<i>Caracterización de la etapa de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío.....</i>	60
c.	<i>Caracterización de la etapa de post-salado de jamones salados en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío.....</i>	62

Índice de contenidos

d.	<i>Estudio de la influencia del proceso de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, sobre el producto final.....</i>	63
4.4.	Toma de muestras	64
4.5.	Análisis fisicoquímicos	66
4.5.1.	Determinación de la variación de masa	66
4.5.2.	Determinación de la humedad	67
4.5.3.	Determinación del contenido de sal	68
4.5.4.	Determinación de la actividad de agua (a_w)	68
4.5.5.	Determinación de la grasa	69
4.6.	Análisis de color y textura	70
4.6.1.	Determinación de parámetros de color	70
4.6.2.	Determinación de parámetros de textura	70
4.7.	Análisis de imágenes	71
4.8.	Estudio estadístico	71
4.9.	Nomenclatura	72
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
5.1.	Fase I. Caracterización de la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico, así como sobre su calidad final	74
5.1.1.	Estudio de la etapa de salado.....	74
5.1.1.1.	<i>Caracterización físico-química del pernil</i>	75
a.	<i>Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.).</i>	75
b.	<i>Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.)..</i>	77
c.	<i>Determinación de la variación de masa (ΔM^0)</i>	77
d.	<i>Determinación de la grasa externa e interna</i>	79

e. Determinación de la actividad de agua (a_w).....	82
5.1.1.2. Caracterización físico-química de las zonas en estudio al final del salado.....	83
a. Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.).	83
b. Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.)..	85
c. Determinación de la actividad de agua (a_w)	86
d. Determinación de la razón másica de grasa ($X^{G.I}$ b.s).	88
5.1.2. Estudio de la etapa de post-salado	90
5.1.2.1. Caracterización físico-química del pernil	90
a. Determinación de la variación de masa total (ΔM^0_t) ...	90
b. Determinación de la variación de masa total acumulada respecto al tiempo de proceso	92
c. Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.)..	92
d. Relación entre la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_w)	93
5.1.2.2. Caracterización físico-química de las diferentes zonas del pernil al final del post-salado	95
a. Determinación de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl})	95
b. Determinación de la actividad de agua (a_w)	98
5.1.3. Estudio de la etapa de curado y caracterización del producto final.....	101
5.1.3.1. Caracterización físico-química del jamón	101
5.1.3.2. Caracterización físico-química de las diferentes zonas del jamón al final del proceso	103
5.1.3.3. Análisis de los parámetros de color de las zonas en estudio	107
5.1.3.4. Análisis de los parámetros de textura de las zonas en estudio	109

5.2.	Fase II. Aplicación de la tecnología de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, al proceso de elaboración de jamón ibérico a partir de materia prima congelada	113
5.2.1.	Estudio de la etapa de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío, de jamones ibéricos congelados	113
5.2.1.1.	<i>Caracterización del proceso de descongelación de los perniles por inmersión en salmuera saturada</i>	113
5.2.1.2.	<i>Caracterización de la etapa de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío</i>	115
5.2.1.2.1.	<u>Caracterización físico-química del pernil.....</u>	116
a.	<i>Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.)..</i>	116
b.	<i>Determinación de la razón másica de agua (X^w b.s.)..</i>	119
c.	<i>Determinación de la actividad de agua (a_w).....</i>	122
d.	<i>Determinación de la variación de masa (ΔM^0_t).....</i>	123
5.2.1.2.2.	<u>Caracterización físico-química de las diferentes zonas de los perniles al final de la etapa de salado en salmuera</u>	125
a.	<i>Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.)..</i>	126
b.	<i>Determinación de la razón másica de agua (X^w b.s.)..</i>	130
c.	<i>Determinación de la concentración de sal en la fase líquida (Z_{NaCl}).....</i>	133
d.	<i>Determinación de la actividad de agua (a_w)</i>	137

5.2.2.	Caracterización de la etapa de post-salado de jamones salados en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío	139
5.2.2.1.	<i>Caracterización físico-química del pernil.....</i>	<i>139</i>
a.	<i>Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.)..</i>	<i>139</i>
b.	<i>Determinación de la variación de masa (ΔM_t^0)</i>	<i>140</i>
c.	<i>Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.)..</i>	<i>142</i>
d.	<i>Determinación de la actividad de agua (a_w)</i>	<i>144</i>
5.2.2.2.	<i>Caracterización físico-química de las diferentes zonas de los perniles 3CPV y 5 SPV, durante la etapa de post-salado</i>	<i>145</i>
a.	<i>Determinación de la concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl})</i>	<i>146</i>
	<i><u>Jamones 5 SPV</u></i>	<i>146</i>
	<i><u>Jamones 3 CPV</u>.....</i>	<i>148</i>
b.	<i>Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.) .</i>	<i>150</i>
	<i><u>Jamones 5 SPV</u>.....</i>	<i>151</i>
	<i><u>Jamones 3 CPV</u>.....</i>	<i>152</i>
c.	<i>Determinación de la actividad de agua (a_w)</i>	<i>154</i>
	<i><u>Jamones 5 SPV</u>.....</i>	<i>154</i>
	<i><u>Jamones 3 CPV</u>.....</i>	<i>155</i>
5.2.3.	Estudio de la influencia del proceso de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, sobre el producto final	158
5.2.3.1.	<i>Caracterización físico-química del jamón.....</i>	<i>158</i>
5.2.3.2.	<i>Caracterización físico-química de las diferentes zonas del jamón al final del proceso</i>	<i>160</i>

Índice de contenidos

5.2.3.3.	<i>Análisis de los parámetros de color en las diferentes zonas del producto final</i>	164
5.2.3.4.	<i>Análisis de los parámetros de textura en las diferentes zonas del producto final</i>	166
6.	CONCLUSIONES	170
7.	BIBLIOGRAFÍA	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Interacción del ion cloruro con la estructura proteica	7
Figura 2.	Flujos de masa durante el proceso de salado	18
Figura 3.	Efecto del mecanismo hidrodinámico durante la aplicación de pulso de vacío en el proceso de salado	19
Figura 4.	Relación lineal entre los valores de actividad de agua (a_w) y la concentración de sal en fase líquida (z^{NaCl}), en jamón curado durante el proceso de elaboración	25
Figura 5.	Salado tradicional en pilas de sal	27
Figura 6.	Jamones en la cámara frigorífica durante la etapa de post-salado	31
Figura 7.	Jamones en cámara de secado	32
Figura 8.	Jamones durante la etapa de maduración	34
Figura 9.	Plan de trabajo	54
Figura 10.	Puntos de la sección transversal del pernil para el registro de temperaturas durante el estudio del proceso de descongelado en salmuera saturada.....	60
Figura 11.	Instalación para el salado con salmuera	62
Figura 12.	Zona de extracción de la loncha para muestreo	64
Figura 13.	Distribución de los puntos de toma de muestra en la loncha	65
Figura 14.	Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) de los perniles FSS y DSS al final de la etapa de salado	76
Figura 15.	Razón másica de agua (X^W b.s.) de los perniles FSS y DSS al final de la etapa de salado.....	77

Índice de figuras

Figura 16.	Variación de masa total ($\Delta M^0_t = \Delta M^W + \Delta M^{NaCl}$) durante la etapa de salado de los perniles FSS y DSS	78
Figura 17.	Variación de masa total acumulada (ΔM^0_{ac}), desde el inicio del proceso de producción hasta el final del salado, en los perniles FSS y DSS	79
Figura 18.	Razón másica de grasa interna (X^{GI} bs) de los perniles frescos y descongelados al final de la etapa de salado	80
Figura 19.	Relación existente entre los espesores de grasa subcutánea y los valores de razón másica de grasa (X^{GI} b.s.)	81
Figura 20.	Actividad de agua (a_w) de los perniles frescos y descongelados al final de la etapa de salado.....	82
Figura 21.	Interacción entre los perniles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro X^{NaCl} b.s., al final de la etapa de salado.....	84
Figura 22.	Interacción entre los perniles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro X^W b.s., al final de la etapa de salado	86
Figura 23.	Interacción entre los perniles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro a_w , al final de la etapa de salado	88
Figura 24.	Interacción entre los perniles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro X^{GI} , al final de la etapa de salado	89
Figura 25.	Variación de masa total ($\Delta M^0 = \Delta M^W + \Delta M^{NaCl}$) durante la etapa de post-salado de los jamones FSS y DSS	91

Figura 26.	Variaciones de masa para los jamones provenientes de materia prima fresca y descongelada, durante el post-salado	92
Figura 27.	Razón másica de agua (X^W b.s.) al final de la etapa de post-salado para los jamones FSS y DSS	93
Figura 28.	Relación entre la concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_w) al final de la etapa de post-salado, para jamones FSS y DSS ...	94
Figura 29.	Interacción entre los perniles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro Z^{NaCl} , al final de la etapa de post-salado	96
Figura 30.	Evolución de la concentración de sal en las zonas analizadas, desde el final del salado hasta el final del post-salado para jamones FSS y DSS	97
Figura 31.	Interacción entre los perniles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro a_w , al final de la etapa de post-salado	99
Figura 32.	Evolución de la concentración de sal en las zonas analizadas, desde el final del salado hasta el final del post-salado para jamones FSS y DSS	100
Figura 33.	Variaciones de masa para los jamones provenientes de materia prima fresca y descongelada, durante todo el proceso de elaboración	102
Figura 34.	Valores de razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.); razón másica de agua (X^W b.s.); concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) y actividad de agua (a_w), al final del proceso de elaboración, para las zonas en estudio	105

Índice de figuras

Figura 35.	Relación entre los valores de razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) y la razón másica de agua (X^{W} b.s.), para los jamones al final del proceso de elaboración	106
Figura 36.	Relación entre los valores de concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_{W}), para los jamones al final del proceso de elaboración	106
Figura 37.	Valores de la concentración de sal de la fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_{W}) durante todo el proceso de producción, para los jamones FSS y DSS	107
Figura 38.	Valores de los parámetros de color, (L , a^* , b^*) para los jamones FSS y DSS, al final del proceso para las zonas en estudio	108
Figura 39.	Relación entre los valores de luminosidad (L^*) y la razón másica de agua (X^{W} b.s.) para el jamón ibérico curado	109
Figura 40.	Valores de los parámetros de textura para el jamón ibérico curado procesado con materia prima fresca y descongelada, al final del proceso para las zonas en estudio	110
Figura 41.	Relación existente entre la razón másica de agua (X^{W} b.s.) y la masticabilidad para el jamón ibérico curado	111
Figura 42.	Evolución de la temperatura en diferentes zonas del jamón sumergido en salmuera saturada a 3°C, a lo largo del tiempo	115
Figura 43.	Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) de los perniles sometidos a la etapa de salado en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.....	117

Figura 44.	Diferencias de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) entre los jamones CPV y SFV para los días de salado empleados	118
Figura 45.	Razón másica de agua (X^{W} b.s.) de los perniles sometidos a la etapa de salado en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	121
Figura 46.	Actividad de agua (a_{w}) de los perniles sometidos a la etapa de salado en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	123
Figura 47.	Variación de masa total ($\Delta M_{\text{t}}^{\circ}$) al final de la etapa de salado en salmuera, para los jamones SPV y CPV	124
Figura 48.	Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s), para la zona A, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	126
Figura 49.	Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s), para la zona B, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	128
Figura 50.	Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s), para la zona C, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	129
Figura 51.	Razón másica de agua (X^{W} b.s), para la zona A, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	130
Figura 52.	Razón másica de agua (X^{W} b.s), para la zona B, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	131
Figura 53.	Razón másica de agua (X^{W} b.s), para la zona C, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	133

Índice de figuras

Figura 54.	Concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}), para la zona A, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	133
Figura 55.	Concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}), para la zona B, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	135
Figura 56.	Concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}), para la zona C, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	136
Figura 57.	Actividad de agua (a_w), para la zona A, en los perniles salados en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío	138
Figura 58.	Razón másica de sal (X^{NaCl} bs), obtenido para jamones CPV y SPV, empleados en el estudio de la etapa de post-salado	140
Figura 59.	Variación de masa total durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera 3 CPV, 5 SPV y DSS	141
Figura 60.	Variación de masa durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera (3 CPV, 5 SPV) y jamones DSS	142
Figura 61.	Evolución de la razón másica de agua (x^w b.s.), durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera 3 CPV y 5 SPV	143
Figura 62.	Evolución de la actividad de agua (a_w), durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera 3 CPV, 5 SPV	145
Figura 63.	Evolución de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) en las zonas de estudio, durante el post-salado para los jamones 5 SPV	146

Figura 64.	Evolución de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) en las zonas de estudio, durante el post-salado para los jamones 3 CPV.....	149
Figura 65.	Concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}), al final del post-salado, para los dos tipos de tratamiento (3 CPV y 5 SPV), y los jamones DSS, en las zonas de estudio	150
Figura 66.	Evolución de la razón másica de agua (X^{W} b.s.) en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 5 SPV	151
Figura 67.	Evolución de la razón másica de agua (X^{W} b.s.) en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 3 CPV	152
Figura 68.	Razón másica de agua (X^{W} b.s.), al final del post-salado, para los dos tipos de tratamiento (3 CPV y 5 SPV), y los jamones DSS, en las zonas de estudio ...	154
Figura 69.	Evolución de la actividad de agua (a_{w}), en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 5 SPV	155
Figura 70.	Evolución de la actividad de agua (a_{w}), en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 3 CPV	156
Figura 71.	Actividad de agua (a_{w}), al final del post-salado, para los dos tipos de tratamiento (3 CPV y 5 SPV), y los jamones DSS, en las zonas de estudio	157
Figura 72.	Variaciones de masa para los jamones salados en salmuera 3 CPV y 5 SPV y los jamones DSS, durante el proceso de elaboración	159

Índice de figuras

Figura 73.	Razón másica de agua (X^W b.s.) en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio	161
Figura 74.	Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio	162
Figura 75.	Concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio	163
Figura 76.	Actividad de agua (a_w), en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio	163
Figura 77.	Valores de los diferentes parámetros de color L, a^* , b^* , en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS	165
Figura 78.	Valores de los diferentes parámetros de textura, en las zonas de estudio, en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Efecto inhibitorio del NaCl sobre el desarrollo de diferentes microorganismos	5
Tabla 2.	Distribución de los pernils para cada una de las fases del estudio	56
Tabla 3.	Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro X^{NaCl} b.s y la interacción (AB) entre ambos factores	83
Tabla 4.	Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro X^{W} b.s., y la interacción (AB) entre ambos factores	85
Tabla 5.	Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro a_{w} y la interacción (AB) entre ambos factores	87
Tabla 6.	Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro $X^{\text{G.I}}$ b.s., y la interacción (AB) entre ambos factores	88
Tabla 7.	Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro Z^{NaCl} y la interacción (AB) entre ambos factores	96
Tabla 8.	Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro a_{w} y la interacción (AB) entre ambos factores	98
Tabla 9.	Valores medios de la variación de masa total (ΔM), razón másica de agua (X^{W} b.s.), razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) y actividad de agua (a^{w}) al final del proceso para la totalidad del jamón (R)	103

Índice de tablas

Tabla 10.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro X^{NaCl} b.s y la interacción (AB) entre ambos factores	117
Tabla 11.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro X^{W} b.s y la interacción (AB) entre ambos factores	120
Tabla 12.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro a_{W} y la interacción (AB) entre ambos factores	122
Tabla 13.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro ΔM_t^0 y la interacción (AB) entre ambos factores	124
Tabla 14.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^{NaCl} b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.....	127
Tabla 15.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^{NaCl} b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona B.....	128
Tabla 16.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^{NaCl} b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona C.....	129
Tabla 17.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^{W} b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.....	131

Tabla 18.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^W b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona B.....	132
Tabla 19.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^W b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona C.....	132
Tabla 20.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (Z^{NaCl}), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.....	134
Tabla 21.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (Z^{NaCl}), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona B.....	135
Tabla 22.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (Z^{NaCl}), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona C.....	136
Tabla 23.	Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (a_w), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.....	137
Tabla 24.	Influencia del tiempo de post-salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (ΔM_t^0) y la interacción (AB) entre ambos factores para los jamones 5 SPV y 3 CPV, durante la etapa de post-salado	141

Índice de tablas

Tabla 25.	Influencia del tiempo de post-salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (x^w b.s.) y la interacción (AB) entre ambos factores para los jamones 5 SPV y 3 CPV, durante la etapa de post-salado.....	143
Tabla 26.	Influencia del tiempo de post-salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (a_w) y la interacción (AB) entre ambos factores para los jamones 5 SPV y 3 CPV, durante la etapa de post-salado.....	144
Tabla 27.	Valores medios de la variación de masa total (ΔM), razón másica de agua (X^w b.s.), concentración de sal en base seca exenta de grasa (X^{NaCl} b.s.), concentración salina en fase líquida (Z^{NaCl}) actividad de agua (a^w) al final del proceso para la totalidad del jamón (R)	160

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Conservación de los alimentos.

A través de los siglos los humanos han usado diferentes técnicas para preservar los alimentos de su deterioro, ya que éstos tienden a perder sus cualidades a lo largo del tiempo. La disipación de estas cualidades puede ser debida a alteraciones innatas del propio producto, como es el caso de las alteraciones químicas (pardeamiento no enzimático, reacciones de Maillard, caramelización de azúcares, oxidación del ácido ascórbico, enranciamiento oxidativo de las grasas, reversión) (Primo Yúfera, 1999), y de alteraciones enzimáticas (pardeamiento enzimático, proteólisis, lipólisis, oxidación de las grasas) (Cheftel *et al.*, 1999), siendo también posible su alteración por la acción externa de los microorganismos.

La conservación de alimentos puede llevarse a cabo mediante el empleo de diferentes técnicas, como las convencionalmente utilizadas: desecación, concentración, congelación, irradiación, atmósferas modificadas, tecnología de obstáculos y empleo de conservantes, antioxidantes, modificación del pH (Casp *et al.*, 2003). Así como por el empleo de nuevas tecnologías, como el empleo de pulsos de campos eléctricos, calentamiento óhmico, tratamiento a altas presiones, revestimientos comestibles, encapsulación, luz y ultrasonido (Rahman, 2003).

Algunos de los diferentes métodos para la preservación de alimentos, como el salado y el secado, desarrollados a lo largo de varios milenios, han sido empíricos y hasta las últimas décadas fueron más una forma de arte que una ciencia exacta (Zeuthen *et al.*,

1. Introducción

2003). A comienzo de la década de los 50's se presentó un aumento en el interés de los científicos en el concepto de actividad de agua (a_w) y su efecto en la calidad y estabilidad de los productos alimenticios (Scott, 1953, 1957).

Las técnicas más importantes y comúnmente usadas en la preservación de alimentos envuelven la inhibición del crecimiento de microorganismos, en vez de la inactivación de estos. A continuación se enuncian algunas de estas técnicas de preservación.

- ✓ Reducción de la actividad de agua, mediante técnicas como el curado, secado, evaporación, o la adición de agentes depresores de la actividad de agua.
- ✓ Temperatura, (altas o bajas).
- ✓ Acidificación o reducción de los valores de pH mediante la fermentación o la adición de diferentes ácidos orgánicos o inorgánicos.
- ✓ Empleo de agentes químicos (nitratos, nitritos, sulfitos).
- ✓ Empleo de microorganismos competitivos (bacterias ácido-lácticas).
- ✓ Empaque en atmósferas modificadas (vacío, N_2 , O_2 , CO_2 , etc.)

Alrededor del 8000 a.C. muchas innovaciones en las técnicas de preservación fueron introducidas con el objetivo de asegurar un constante abastecimiento de alimentos, como frutas y granos, los cuales eran estabilizados mediante secado, así como carne y pescado, los cuales se preservaban mediante el salado y el ahumado (Zeuthen *et al.*, 2003). El desarrollo de un proceso de salado fue llevado a cabo por las culturas china y egipcia (200 a.C.), permitiendo el consumo de alimentos perecederos tales como carne y

pescado, garantizando su abastecimiento en épocas de escasez, permitiendo a su vez el desarrollo de mercados por diferentes culturas (fenicios, griegos y romanos, entre otros) (Gallart *et al.*, 2005).

Existen dos tipos de productos salados. Por una parte se encuentran aquellos que necesitan una previa reducción de la cantidad de sal presente en ellos antes de ser consumidos. Es el caso del bacalao y el tasajo, los cuales tienen una a_w reducida (0.75), es decir, una baja disponibilidad de agua para ser alterado por reacciones químicas, enzimáticas o por la acción de los microorganismos. Por otra parte se encuentran los productos que tienen una menor concentración de sal que los anteriores, y por lo tanto pueden ser consumidos sin un previo tratamiento, como el jamón, queso, olivas, salchichas, etc. Estos últimos productos presentan una mayor cantidad de agua disponible que los anteriores, y son frecuentemente sometidos a procesos de fermentación o curado para incrementar su estabilidad y obtener unas características deseables.

La sal ha jugado un importante rol durante el transcurso de la historia. La localización de los depósitos de sal fue de gran relevancia para algunas civilizaciones antiguas, entre los que podemos encontrar la antigua Roma, el antiguo Egipto, así como algunos pueblos y aldeas del medio oriente, esto debido a las propiedades de la sal como agente conservante (Schleiden, 1875; Netolitzky, 1913; Forbes, 1965). Herodoto, en su libro *Historiae*, describe el uso de la sal como un agente momificante, incluso los egipcios tenían un nombre particular para la sal, la cual denominaban "natron", que significa sal divina. Algunas rutas específicas para el comercio de la

1. Introducción

sal fueron creadas, librándose numerosas guerras para obtener el control de los depósitos y los mercados de la sal, como es el caso de Roma, una ciudad cuyos orígenes provienen de una ruta designada para el transporte de sal. La importancia que este compuesto ha presentado durante el desarrollo del hombre se ve incluso reflejada en el lenguaje, donde se puede encontrar palabras como "salario", el cual es un termino derivado del latín "*salarium*", el cual proviene de la cantidad de sal que era entregada a los legionarios y trabajadores romanos como paga por sus servicios.

1.1.1. Propiedades de la sal en los alimentos

La sal es uno de los aditivos alimenticios más empleados, siendo muy empleada como conservante a través de los siglos. También por sus propiedades en el realce del sabor de los alimentos (Fitzgerald & Buckley, 1985 Van Hekken & Strange, 1993). La sal también ha sido empleada, especialmente en la industria cárnica, para mejorar la adsorción de agua (Van Hekken and Strange, 1993). Aunque la sal no presenta una acción antimicrobiana directa, su capacidad como agente reductor de la actividad de agua (a_w) en los alimentos, reduce o incluso interrumpe los procesos microbianos vitales. Una alta concentración de sal genera cambios en el metabolismo celular, debido al efecto osmótico, generando un efecto en diferentes concentraciones a diferentes clases de microorganismos, tal como se puede observar en la tabla 1.

Un aspecto negativo en el empleo de la sal en la industria alimentaria, se debe a la extracción osmótica de agua, eliminando a su vez algunos compuestos hidrosolubles, tales como: vitaminas, minerales y proteínas, reduciendo de esta forma el valor nutricional

de los alimentos conservados, al compararlos con productos frescos (Luck *et al.*, 2000). Por otro lado, debido a que son necesarias altas concentraciones de sal para la inhibición del crecimiento microbiano, el proceso de salado es inadecuado por si solo como método de conservación en productos alimenticios listos para consumo, siendo necesaria la combinación con otro tipo de técnicas como pueden ser el secado, deshidratación osmótica, ahumado, entre otras.

Tabla 1. Efecto inhibitorio del NaCl sobre el desarrollo de diferentes microorganismos.

% NaCl	Microorganismos
5	<i>Clostridium botulinum</i> tipo E; <i>Pseudomonas fluorescens</i> .
6	<i>Shigella</i> ; <i>Klebsiella</i> .
8	<i>E. coli</i> ; <i>Bacillus cereus</i> ; <i>Clostridium botulinum</i> tipo A; <i>Clostridium perfringens</i>
10	<i>Clostridium botulinum</i> Tipo B; <i>Vibrio parahaemolyticus</i>
15	<i>Bacillus subtilis</i> ; <i>streptococci</i>
18	<i>Staphylococcus aureus</i>
25	Algunas especies de <i>Penicillium</i> y <i>Aspergillus</i> .
26	<i>Halobacterium halobacium</i> ; <i>Bacterium prodigiosum</i> algunas especies de <i>Spirillum</i> .

* Adaptado de Krieg & Holt, 1984; Sneat *et al.*, 1984 Prändl, 1994; Curtis & Lawley, 2003.

1.1.2. Efecto de la sal en la percepción del sabor.

Los aniones presentan un efecto en las propiedades de percepción del sabor en las diferentes clases de sales. El cloruro de sodio, yoduro de sodio y bromuro de sodio deberían presentar el mismo sabor salado, pero presentan diferencias en el nivel en que son percibidas (Murphy *et al.*, 1981). De igual forma, la percepción del sabor salado depende del tipo de anión presente en la sal (Ye *et al.*, 1991, 1993).

1. Introducción

La influencia del cloruro de sodio en la percepción del sabor salado puede explicarse por la presencia del ion cloruro Cl^- y su efecto sobre las células receptoras de la lengua (Murphy *et al.*, 1981). La difusión de aniones de tamaño grande a través de las células receptoras del sabor es limitada, siendo las sales con aniones de mayor tamaño menos efectivas en la estimulación de estas células (Delwiche *et al.*, 1999).

Es bueno recalcar que debido a la acción del calor, especialmente en productos cárnicos, se destruye la matriz estable formada por la sal unida a las proteínas, lo cual permite la liberación de la sal retenida, aumentando el sabor salado. Esta es la razón por la cual un producto no cocido presenta una menor sensación de salado que un producto cocido, con la misma concentración de sal.

1.1.3. Influencia de la sal en la capacidad de retención de agua (CRA) en productos cárnicos

La capacidad de retención de agua se define como la habilidad de la matriz tridimensional proteica del alimento para prevenir la pérdida de agua (Hermansson, 1986). Esta propiedad puede verse afectada por muchos parámetros propios de las proteínas, tales como: tamaño de poro, capilaridad, la carga de la matriz proteica (interacciones hidrofobicas, puentes de hidrogeno, puentes sulfuro-sulfuro, acidos, bases), así como por las fuerzas de Van der Waals (Chou *et al.*, 1979; Hermansson, 1986; Lumry, 1973; Morr, 1989; Phillips, 1977). Adicionalmente a estos parámetros, el medio en el que se encuentre inmersa la matriz proteica puede afectar la CRA, debido a la fuerza iónica, las especies presentes, el pH, temperatura y el tiempo que se tarde en establecerse el equilibrio entre la proteína y el agua (De Wit,

1988; Kinsella, 1982; Mangino, 1984). Algunas sustancias, en particular de bajo peso molecular, como la lactosa o el cloruro de sodio, han sido reportadas como compuestos con un marcado efecto sobre la capacidad de retención de agua (Aljawad *et al.*, 1988; Berlin *et al.*, 1973; Hermansson *et al.*, 1975; Ozimek *et al.*, 1981).

El aumento de la CRA en las proteínas de origen animal, mediante la adición de sal, se debe a la afinidad preferencial de las proteínas por el ion Cl^- (Figura 1).

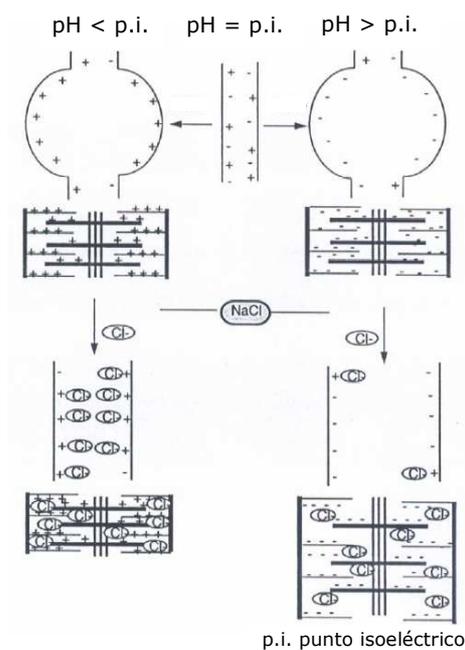


Figura 1. Interacción del ion cloruro con la estructura proteica (Adaptado de Girard, 1990).

Debido a la afinidad de las proteínas por los iones cloruro, a pH por encima del punto isoeléctrico de estas, la carga negativa de las proteínas aumenta, dando como resultado fuerzas de repulsión, las

1. Introducción

cuales permiten embeber agua adicional dentro de la red proteica. En contraste, a valores de pH bajo el punto isoeléctrico de las proteínas, la carga positiva de estas es neutralizada por los iones Cl^- reduciendo la carga neta positiva y por consiguiente la capacidad de retención de agua. Finalmente, a partir de concentraciones de sal mayores a 0.6 M, puede presentarse la deshidratación de las proteínas, debido a la competencia entre los solutos y las proteínas por el agua disponible en el alimento. (Chou *et al.*, 1979; Wismer, 1994).

1.1.4. Influencia de la sal en el comportamiento de las proteínas.

Ha sido muy estudiada la influencia que la sal puede ejercer en la solubilidad y las propiedades emulsificantes de las proteínas (Cheftel *et al.* 1989). La solubilidad de las proteínas en el agua depende básicamente de la distribución de los grupos polares y no polares en las cadenas laterales de los aminoácidos (Cheftel *et al.*, 1989), adicionalmente a las especies iónicas presentes en la solución (Arakawa *et al.*, 1982; Kinsella, 1982).

El incremento de la solubilidad a bajas concentraciones de sal es debido al efecto "salting-in", generado por la reducción de las interacciones electroestáticas por la reacción entre los iones de la sal y las cargas de las cadenas proteicas (Fennema, 1993). El efecto "salting-in" se puede describir como la unión adicional de sal por parte de la fracción hidrofílica dentro de las proteínas, resultando en una resolubilización de éstas por el aumento de su carga eléctrica, lo cual genera repulsión electroestática en la cadena proteica (Vieira *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2007). Por otro lado, la precipitación de las proteínas a altas concentraciones de sal cercanas a 1M (Cheftel, 1989; Machado, 2007), se debe al efecto "salting-out" de las

interacciones hidrofóbicas. La sal afecta este tipo de interacciones incrementando la tensión superficial, lo cual es satisfactoriamente correlacionado con las series liotrópicas (Chou *et al.*, 1979). Es posible definir el efecto "salting-out" como la unión de los cationes positivos a las zonas con carga negativa en la parte hidrofílica de las proteínas, lo cual a su vez genera la minimización de la carga eléctrica de éstas y de las interacciones electrostáticas de repulsión entre proteínas (Kumosinski, 1994).

La adición de cloruro de sodio en carne picada desacelera la velocidad en la formación de metamioglobina (MMb) (Torres *et al.*, 1989). Por otro lado la sal ejerce influencia en la actividad enzimática de diferentes proteasas, tales como: proteasas activadas por calcio; catepsina D y catepsina L entre otras. Cuando el contenido de sal aumenta, la actividad enzimática de estos compuestos desciende, lo cual conlleva a la prevención del deterioro de la carne (Sárraga *et al.*, 1989). Dentro de las enzimas responsables de algunos de los cambios que ocurren en el desarrollo del flavour en jamón, reduciendo su actividad por la presencia de sal, podemos encontrar calpainas y catepsinas (Rico *et al.*, 1990; Toldra *et al.*, 1998), lipasa neutra y estearasa ácida (Motilva *et al.*, 1992). En algunos casos se han asociado problemas de textura a bajos contenidos de sal, lo cual permite una elevada actividad enzimática de la catepsina B (Parolari *et al.*, 1994), así como a la posible acción de enzimas y microorganismos responsables del desarrollo de compuestos volátiles en queso manchego (Escriche *et al.*, 2000).

De forma contraria, algunas enzimas aumentan su actividad enzimática por la presencia de sal, como es el caso de la trasglutaminasa F-XIIIa, mediante la cual se mejora la cohesión y la

1. Introducción

elasticidad en la carne (Nielsen *et al.*, 1995). La aminopeptidasa B (Flores *et al.*, 1993), lipasa acida (Motilva *et al.*, 1992) y m-calpain (Rosell & Toldrá, 1998), son activadas mediante bajas concentraciones de sal. El empleo de otras sales como el cloruro de calcio CaCl_2 ha sido estudiado en la inhibición del envejecimiento post-mortem de ternera, mediante el empleo de inhibidores de cisteína (Alarcon-Rojo & Dransfield, 1995).

Se ha demostrado como cationes monovalentes, tales como sodio (Na^+) y potasio (K^+), inhiben la actividad enzimática de algunas proteasas, mientras que cationes divalentes, tales como magnesio (Mg^{+2}) y calcio (Ca^{+2}), activan la actividad enzimática. Además se ha logrado establecer que los cationes monovalentes reducen el efecto de los cationes divalentes (Orlowski, 1990; Ray & Harris, 1987). Otras de las proteasas sobre las cuales se puede encontrar un efecto inhibitorio de la sal son: hemoglobin hidrolasa (Stoknes *et al.*, 1995; Stoknes *et al.*, 2005) y algunas de las proteasas acidas, las cuales incluso con la presencia de bajas concentraciones son inactivadas (Stoknes *et al.*, 2005).

El proceso de salado disminuye significativamente la estabilidad al calor de la actina y la miosina, permitiendo la desnaturalización de estas proteínas a mas bajas temperaturas, siendo necesaria una menor cantidad de energía (Thorarinsdottir *et al.*, 2002). Adicionalmente se ha podido observar como la quimiotripsina, tripsina, colagenasa y la elastasa, son activadas durante el salado-curado, excepto cuando las proteínas son desnaturalizadas por la concentración de NaCl (Stoknes, 2005).

1.1.5. Influencia de la sal sobre las grasas.

El cloruro de sodio ha sido reportado como un compuesto prooxidante (Chang & Watts, 1950; Tappel, 1952; Banks, 1961; Ellis *et al.*, 1968; Powers & Mast, 1980; Kanner & Kinsella, 1983; Coutron-Gambotti *et al.*, 1999; Kanner *et al.*, 1991), en concentraciones entre 0.5 - 2.5% (Hernandez *et al.*, 2002), aunque en algunos casos ha sido observado su efecto antioxidante (Chang & Watts, 1950; Mabrouk & Dugan, 1960). Ellis y colaboradores postularon que el cloruro de sodio puede ser el responsable de la activación de un componente en el tejido magro de la carne, que es el responsable del cambio de las características oxidativas del tejido adiposo. Debido a que el citoplasma contiene iones hierro, probablemente quelados por las proteínas, en sistemas cárnicos el cloruro de sodio posiblemente incrementa la cantidad de iones hierro catalítico, los cuales pueden penetrar dentro de la fase lipídica, aumentando la peroxidación de las grasas (Kanner *et al.*, 1991; Kanner, 1994). Este proceso tiene un efecto negativo en la calidad de alimentos cárnicos, como puede ser la disminución del flavour (St. Angelo & Bailey, 1987). También se ha observado como los músculos de cerdo salados son menos susceptibles a la oxidación de la grasa, debido a la influencia del cloruro de sodio en la estabilidad de enzimas antioxidantes, tales como la catalasa y la GSH-Px, esta última más afectada que la catalasa (Hernández *et al.*, 2002).

Hasta la fecha no se ha probado el efecto real de la sal sobre los procesos lipolíticos. Algunos estudios han reportado un efecto positivo (Motilva & Toldrá, 1993a; Vestegaard *et al.*, 2000, Andres *et al.*, 2005), aunque otros autores no han encontrado ninguna clase de

1. Introducción

efecto sobre este tipo de reacciones (Countron-Gambotti *et al.*, 1999).

Como se mencionó con anterioridad, el proceso de salado permite sólo una limitada protección contra los procesos deteriorativos de los alimentos, siendo necesaria en la mayoría de los procesos su combinación con otros métodos de conservación, para obtener un adecuado nivel de protección contra el ataque microbiano.

1.2. Aplicaciones de la sal en la industria alimentaria.

1.2.1. Sal en vegetales

En el área de producción de vegetales, la sal es principalmente empleada como un conservante, especialmente en “vegetales salados” (espárragos, judías, nabo, coliflor, zanahorias, cebolla, champiñones y olivas) (Lück & Pager, 2000), así como en la preparación de rábano blanco asiático (Coogan *et al.*, 2002), los cuales son productos empelados en procesos posteriores en la industria alimentaria. La sal también ha sido empleada como un agente de ablandamiento, reduciendo los tiempos de cocción de judías (Leon *et al.*, 1992), o como es el caso de las olivas negras saladas, producidas en las islas de Thassos y Creta, donde el objetivo de la adición de la sal es lograr el salado /secado de las olivas (Panagou, 2006), o en algunos casos la fermentación de estas (Özay & Borcakh, 1996).

En algunos productos vegetales, especialmente en la producción de encurtidos, la sal no juega un papel directo como conservante, ya que el bajo nivel de sal empleado, favorece un crecimiento de

microorganismos selectivo y competitivo, favoreciendo el desarrollo de bacterias ácido-lácticas (Lück & Pager, 2000; Ösay *et al.*, 1996).

1.2.2. Sal en productos lácteos.

El más importante producto lácteo en el que esta involucrado el uso de la sal es el queso. La concentración de la sal y los diferentes procesos para su aplicación pueden variar de acuerdo con la región de fabricación y el tipo de queso preparado. Usualmente la sal es adicionada para controlar el crecimiento de las bacterias ácido-lácticas y para prevenir el crecimiento de microorganismos no deseados. Adicionalmente la sal presenta una función secundaria en el proceso, la cual es el aportar un sabor adicional al queso, que de otra forma presentaría un sabor demasiado suave (Rowney *et al.*, 2004).

La sal afecta las propiedades funcionales del queso en varias formas: altos niveles de sal generan cambios en el contenido de aceite libre, humedad y viscosidad aparente del queso (Kindstedt *et al.*, 1992). En contraste, bajas concentraciones pueden afectar la cantidad de suero presente (Guo *et al.*, 1997; Paulson *et al.*, 1998). Los iones sodio pueden aumentar las propiedades emulsificantes de la caseína y por consiguiente, afectar la microestructura de los glóbulos grasos de la leche (Kindstedt *et al.*, 1992).

La concentración y la distribución de la sal en el queso tiene una gran influencia sobre varios aspectos en la calidad del queso (Fox, 2000; Gunasekaran, 2003), incluida la textura (Guinee, 1993), la modificación de la capacidad de retención de agua dentro de la matriz

1. Introducción

del queso, influenciando sus propiedades físicas (Paulson, 1998; Madadlou *et al.*, 2006).

1.2.3 Sal en pescado y derivados

Existen tres diferentes niveles empleados en la preservación del pescado. El primero de ellos provee productos con concentraciones de sal por debajo del 15% (expresada en concentración de fase líquida z^{NaCl}), siendo necesario su almacenamiento en cámaras refrigeradas para una completa conservación del producto. Dentro de este tipo de productos podemos encontrar el arenque alemán y holandés. El segundo nivel de salado se puede considerar un salado moderado, donde las concentraciones de sal son menores al 20%. EL tercer nivel de salado se considera intenso e involucra concentraciones superiores al 24%. Generalmente es usado en la conservación de pescado, en el que se le realiza un proceso de deshidratación para aumentar su conservación. Productos elaborados con esta concentración son el atún y el bacalao secos y deshidratados.

En general se puede encontrar una gran variedad de productos de la pesca, tales como Bacalao salado (Thorarinsdottir *et al.*, 2002; Barat *et al.*, 2003; Gallart-Jornet *et al.*, 2007a), besugo (Chouliara *et al.*, 2004; Goulas *et al.*, 2007), caballa (Goulas *et al.*, 2005), salmon ahumado (Espe *et al.*, 2001; Sigurgisladottir *et al.*, 2000; Gallart-Jornet *et al.*, 2007a, 2007b), y sardinas (Corzo *et al.*, 2007; Bellagha *et al.*, 2007).

1.2.4. Sal en productos cárnicos.

Debido a sus propiedades como potenciador del sabor y como

conservante, la sal ha sido ampliamente usada en la industria cárnica. Este aditivo se encuentra envuelto en procesos de aumento de la capacidad de retención de agua, desarrollo de la textura, desarrollo del sabor y el flavour, adicionalmente en la seguridad microbiológica de embutidos cocidos (Poulanne, 2001), generación del pigmento durante el madurado y su influencia en el crecimiento microbiano. La sal también es esencial en la formación del compuesto formado por la interacción entre la grasa y el músculo, el cual es responsable de las propiedades de textura y consistencia en algunos embutidos (Prändal, 1994). Además se ha observado que las sales de calcio inyectadas en el músculo, pasadas 72 horas del sacrificio, afectan la actividad de las enzimas activadas por calcio y el mecanismo no enzimático denominado "salting-in". (Lawrence, 2003).

Diferentes tipos de productos cárnicos han sido desarrollados mediante el uso de diferentes sales, especialmente de cloruro de sodio. La gran variedad incluye productos tales como:

Bresaola (típico de Valtellina, Italia), producto elaborado a partir del salado de diferentes cortes del cuarto trasero de bovinos, todos característicamente magros (Calcinardi, 1962; Cantoni *et al.*, 1966, 1968). Un producto similar puede ser encontrado en el denominando "Canton of Grigioni" (Suiza), llamado "Viande des Grison" o "Bunderfleish", el cual esta hecho empleando como materia prima cortes de ganado vacuno, los cuales son sometidos a presión durante el proceso de curado (Migaud, 1978).

1. Introducción

Tasajo es un producto salado elaborado en Cuba, muy similar al charqui (típico de algunos países en Latinoamérica), (Torres *et al.* 1994). El proceso de elaboración de este tipo de productos inicia con una etapa de salado, para posteriormente realizar un secado al sol. Es un proceso lento, que puede tardar tres semanas. En la actualidad se están empleando carne proveniente de otras especies diferentes a la ternera, como es el caso de carne de búfalo (Paleari, 2000).

Jamón Curado, es el más popular de todos, debido a su producción y consumo tradicional en muchos países europeos, y a su creciente demanda en mercados no tradicionales, como lo son los mercados de norte y sur América. Muchas regiones siguen procesos tradicionales de elaboración, empleando diferentes concentraciones y técnicas de aplicación de la sal, combinadas con otros tipos de procesos, como puede ser el ahumado y la cocción. Es por ello que existe una gran variedad de tipos de jamón curado, tales como el jamón de Parma de Italia (Bolzoni *et al.*, 1996; Dirinck *et al.*, 1997; Cobe, 2002); Jamón Serrano (Huerta *et al.*, 1988; Barat *et al.*, 2004, 2005, 2006; Luna *et al.*, 2006) y Jamón Ibérico (Serra *et al.*, 1998; Cava *et al.*, 1999; Martín *et al.*, 1999), estos últimos procedentes de España, los cuales son los más conocidos por su tradición y proceso de elaboración

1.3. El proceso de salado.

Debido a las diferentes propiedades de la sal, mencionadas con anterioridad, el proceso de salado ha sido empleado principalmente en la industria de conservación de la carne y del pescado. La

estabilización de los alimentos mediante el uso de la sal, se basa en la reducción de los valores de actividad de agua (a_w), además de permitir el desarrollo del flavour característico en los proceso de secado y maduración.

El proceso de elaboración de productos salados y curados puede presentar variaciones, de acuerdo a la tradición de cada una de las áreas de producción, pero definitivamente el proceso de salado es una de las etapas fundamentales.

El proceso tradicional de salado ha sido desarrollado mediante el cubrimiento o el frotado de la materia prima con sal sólida, la cual es parcialmente disuelta y drenada por el efluente líquido que sale del alimento, como consecuencia de mecanismos osmóticos y difusionales. El objetivo de la etapa de salado es que el producto adquiera la suficiente cantidad de ingredientes curantes (principalmente sal) para proporcionar al producto la estabilidad necesaria en las subsiguientes etapas del proceso, las cuales son llevadas a cabo a temperaturas por encima de la refrigeración (Secado, Ahumado, Curado, Cocción), y finalmente para garantizar la conservación del producto a temperatura atmosférica.

El mecanismo de transferencia de materia durante el proceso de salado, básicamente presenta dos flujos principales (figura 2); a- Flujo de agua, la cual está asociada en primer lugar a la pérdida de agua del alimento por efecto del fenómeno osmótico y en segundo lugar al flujo del agua de zonas de baja concentración de sal (interior del alimento), hacia altas concentraciones de sal (exterior del alimento). b- Flujo de sal, la cual una vez disuelta penetra en el alimento, debido a la baja concentración existente en el interior de éste.

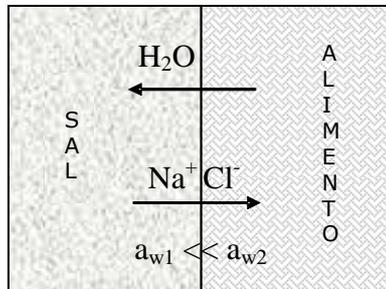


Figura 2. Flujos de masa durante el proceso de salado.

La velocidad con la que la sal penetra en el alimento disminuye a medida que el equilibrio salino, entre el medio exterior (sal) y el producto, es alcanzado. Factores internos y externos afectan los flujos de masa durante el proceso de salado. Entre los factores externos podemos encontrar la temperatura, el medio salino (sal sólida o salmuera), y el tamaño de los cristales de sal. Algunos de los parámetros internos son el pH, el contenido de grasa interna, la humedad, el estado de la materia prima (fresca o congelada), etc.

Dado que el proceso de salado es una técnica antigua, las diferentes condiciones asociadas al proceso han sido establecidas de forma artesanal. En las últimas décadas, la investigación, el entendimiento y la subsiguiente industrialización del proceso ha hecho posible el desarrollo de un proceso controlado y seguro. La industrialización y la investigación también han promovido la generación de nuevas técnicas de procesado, las cuales han incidido tanto en las técnicas de salado, de secado-madurado, como en los formatos de comercialización. Dentro de estas diferentes técnicas podemos encontrar el salado en salmuera (Sigurgisladottir *et al.*, 2000; Chiralt *et al.*, 2001; Barat *et al.*, 2005, 2006; Gallart-Jornet *et*

al., 2007a, 2007b; Bellagha *et al.*, 2007), donde la materia prima es puesta dentro de salmuera, reduciendo los tiempos de salado por la pre-solubilización de la sal. Además la aplicación de esta técnica permite realizar un proceso de descongelación simultáneo con el desalado, cuando se utiliza materia prima congelada. La aplicación del salado en salmuera puede verse mejorada con la aplicación de un pulso de vacío (50 – 100 mbar), reduciendo aun más los tiempos de salado como resultado del mecanismo hidrodinámico (figura 3), ya que la entrada de salmuera al interior del producto se ve forzada (Fito & Pastor, 1994).

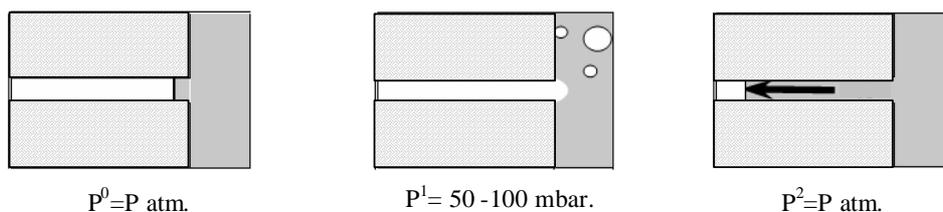


Figura 3. Efecto del mecanismo hidrodinámico durante la aplicación de pulso de vacío en el proceso de salado (adaptado de Fito *et al.*, 1996).

El salado por inyección es otra de las técnicas introducida en los procesos de salado, especialmente en productos cárnicos y de la pesca. La inyección de salmuera esta basada en la inserción de agujas al interior del producto, para difundir la salmuera y las soluciones de curado, asegurando una rápida y más uniforme distribución del cloruro de sodio, nitrato, nitrito y otros posibles ingredientes, tales como azúcares, especias, fosfatos, al interior de los tejidos del alimento (Townsend & Olson, 1994; Casiraghi *et al.*, 2007). Estudios recientes han evaluado el salado por inyección, como una tecnología aplicable en la obtención de contenidos de sal homogéneos y satisfactorios en músculos en estado pre-rigor de salmón atlántico, antes de posteriores etapas del procesamiento, tales como secado y ahumado (Bencze Røra *et al.*, 2004; Birkeland *et*

1. Introducción

al 2007). Adicionalmente, el nivel de inyección de salmuera puede mejorar las características de aceptación en jamón cocido (Desmond *et al.*, 2002).

Recientemente se ha estudiado el uso de altas presiones hidrostáticas durante o después de el proceso de salado (comprendidas entre 50-400 Mpa, por un tiempo de 5 -10 min), su uso va dirigido hacia el incremento de la ganancia de sal y los procesos de difusión de agua y sal en pechugas de pavo (Villacís *et al.*, 2008), así como en queso manchego (Pavia *et al.*, 2000). Esta técnica provee un efecto adicional, el cual es el control en el crecimiento de microorganismos, lo cual aumenta el interés por este método como una alternativa en la conservación de alimentos (Trujillo *et al.*, 2000).

El proceso de salado es afectado por parámetros internos del alimento, especialmente por la matriz interna, la cual esta básicamente compuesta por grasa y proteína (en carne y productos cárnicos). La distribución de los componentes en esta matriz, así como la variabilidad de la materia prima afecta la difusión de la sal. Adicionalmente, es posible que la expresión de los resultados se vea afectada por la matriz de los alimentos, por lo cual es aconsejable considerar este efecto, a fin de definir las condiciones de la etapa.

1.3.1. Tendencias en el proceso de salado.

La estimación más común para los requerimientos mínimos de sodio en el hombre es de 200 mg/día (0.5 g de NaCl), sin embargo, el consumo promedio de ingesta de sodio en países desarrollados esta cerca a valores entre 4 – 5 g (10-12 g de NaCl), (Dillon, 1987;

IFT, 1980), lo cual es 25 veces más que los requerimientos mínimos para un adulto. Este hecho es el responsable de las tendencias actuales en el procesamiento de alimentos, la cual es la reducción del contenido de cloruro de sodio con el objeto de contrarrestar las implicaciones que la presencia de la sal en la dieta puede generar en la salud de los consumidores, especialmente referido a enfermedades cardiovasculares (Antonios & MacGregor, 1997; Morgan *et al.*, 2001) y a problemas relacionados con presión arterial (Appel *et al.*, 1997).

Básicamente existen tres estrategias para la reducción del contenido de sodio, estas son; a- El uso de sustitutos del cloruro de sodio; b- El uso de potenciadores del flavour; c- la optimización de la forma física de la sal con el objeto de incrementar su solubilidad (Desmond, 2006). Se ha considerado el uso de cloruro de potasio como sustituto del cloruro de sodio, encontrándose algunos inconvenientes como es el sabor amargo y la sensación de un menor sabor salado lo que implica la necesidad de mayores cantidades de KCl para obtener un mismo nivel en la sensación del sabor salado. Otro problema del uso del Cloruro de potasio en la dieta es el aumento de los niveles de iones K^+ en los humanos, lo cual está asociado a la aparición de trastornos y enfermedades renales y cardíacas. Algunos estudios han reportado la sustitución parcial de NaCl por KCl en algunos productos como quesos Feta y Kefalograviera (Güven & Karaca, 2001; Katsiari *et al.*, 2000, 2001), también en algunos embutidos fermentados (Gou *et al.*, 1996) y en jamón curado (Frye *et al.*, 1986). En estos casos no se ha reportado ningún efecto de la sustitución sobre el producto final, comparado con el producto tradicional (sin sustitución de NaCl). Se ha observado que los fosfatos pueden ser usados como sustitutos del cloruro de sodio, especialmente en productos cárnicos, aunque hay que tener en

1. Introducción

cuenta que concentraciones elevadas de estos compuestos pueden generar problemas organolépticos, como es la presencia de un sabor jabonoso (Barbut *et al.*, 1986; Sofos, 1985; Ruusunen *et al.*, 2002, 2005).

Debido a los efectos que presenta el cloruro de sodio sobre la calidad y el procesamiento de los alimentos, es necesario el empleo de varios aditivos, con el objeto de solucionar los problemas que se presentan en productos bajos en sal, problemas asociados a la retención de agua y baja emulsificación, lo cual genera problemas de sabor y textura (Collins, 1997; Monahan & Troy, 1997). Dentro de los compuestos que han sido ensayados con éxito se puede encontrar el uso de trasglutaminasa, la cual produce la gelificación de las proteínas musculares en salchichas, reduciendo o eliminando la necesidad de adicionar sal (Nielsen *et al.*, 1995; Kuraishi *et al.*, 1997).

En productos donde el empleo de la sal es imprescindible, tales como el jamón curado, la demanda de los consumidores por productos menos salados, ha generado la reducción de la sal (Guerrero *et al.*, 1998; Morgan *et al.*, 2001), siendo necesario la adaptación de las condiciones y variables de proceso, para acomodarse a un producto con bajas concentraciones de sal (Andres *et al.* 2001). Así estas modificaciones en el procesado irán ligadas al objeto de reducir el riesgo tecnológico (Baldini *et al.*, 1984) y las implicaciones negativas sobre la calidad sensorial, tales como la oxidación de las grasas.

El desarrollo de la investigación en los procesos de salado bajos en sal, deben apuntar hacia el incremento en las velocidades de difusión

dentro de los productos, llegando a una estabilización más rápida y uniforme, lo cual conlleva a un proceso más rápido y seguro.

1.3.2. Expresiones de la concentración de sal

Algunos autores usan diferentes bases para ilustrar el contenido de sal en sus publicaciones. La forma en que esta concentración es expresada depende especialmente del tipo del objetivo del análisis y de la investigación. Es posible encontrar concentraciones expresadas en porcentajes (Ösay *et al.*, 1996; Martin *et al.*, 1999; Deumier *et al.*, 2003^a, 2003^b; Andres *et al.*, 2005; Goulas *et al.*, 2005; Panagou, 2006; Bellagha *et al.*, 2007), en donde el objetivo de esta forma de expresar la sal es la de mostrar el nivel de salado adquirido por los diferentes productos analizados, con el inconveniente que es muy difícil la comparación de resultados, si se está discutiendo de matrices con una composición muy diferente. Así y dado que en la investigación en alimentos se trabaja con matrices alimenticias que pueden llegar a presentar diferencias significativas, especialmente en los contenidos de humedad; grasa; proteína y sal, es necesario establecer una base común, bajo la cual se puedan comparar los resultados obtenidos, sin caer en errores de estimación. En este sentido es común establecer bases de acuerdo al parámetro que presente una mayor variabilidad, es el caso de la fracción en base seca y la fracción en base seca exenta de grasa, donde el contenido es expresado excluyendo la fracción de agua o la de agua y grasa (Barat *et al.*, 2004, 2005, 2006^a; 2006^b; Ruiz-Ramírez *et al.*, 2005a, 2005b). Por otro lado, cuando se está haciendo referencia a procesos difusivos, la expresión de las concentraciones viene dada en la fase líquida (z^{NaCl}). Esto es debido a que los fenómenos de difusión de la sal son llevados a cabo en la fase líquida de los alimentos y que de

1. Introducción

esta forma es más fácil establecer el nivel de difusión de la sal que ocurre en el interior de los alimentos. El uso de este tipo de concentración es el más adecuado (Barat *et al.*, 2003; Gallart-Jornet *et al.*, 2007a), aunque algunos autores presentan este tipo de estudios bajo concentraciones en base seca (Gou *et al.*, 2000; 2002; 2003; 2004). Es importante destacar que el sabor salado esta asociado a la fase líquida de los alimentos y sus correspondientes concentraciones de sal, ya que las células receptoras de la lengua se ven estimulados por la presencia de los iones Cl^- y Na^+ (Murphy *et al.*, 1981), los cuales se encuentran presentes en la fase líquida por solvatación de la sal. Así la utilización de la expresión en la fase líquida también estará ligada a la percepción del sabor salado

Otro de los aspectos por los cuales es importante la concentración de sal en fase líquida, radica en su relación lineal con los valores de actividad de agua (a_w) de alimentos salados. Esta relación es importante en el control de algunos procesos, ya que los valores de actividad de agua se encuentran fuertemente ligados al desarrollo microbiológico, como se menciono con anterioridad.

El papel de la sal como un elemento depresor de la actividad de agua y a su vez como un método de preservación, se ve favorecido por la interacción entre la sal y la matriz del alimento. Los valores de actividad de agua en salmueras a diferentes concentraciones (figura 4) son más altos que valores a los obtenidos para concentraciones similares en la fase líquida del alimentos, encontrándose que al aumentar la concentración de sal en fase líquida, la relación se reduce, perdiendo su comportamiento lineal, lo cual demuestra que este efecto es más importante en alimentos cuyos valores de humedad son más bajos.

1. Introducción

elaborar jamones curados, así como las técnicas de elaboración de productos cárnicos por medio del curado. En las últimas décadas la producción de jamón curado ha pasado de ser fundamentalmente artesanal a ser industrial y especializada, gracias a las técnicas de explotación de ganado porcino, y a las nuevas tecnologías industriales

El proceso de elaboración del jamón curado consta de varias etapas, siendo las fundamentales: salado, post-salado, secado y maduración en bodega. Durante estas etapas se producen fenómenos de transferencia de masa y reacciones bioquímicas, que permiten la conservación del jamón y el desarrollo del sabor, aroma y textura característicos del producto. A continuación se describen las etapas principales del procesado:

1.4.1. Salado.

Una vez extraídas las extremidades posteriores del cerdo, preparadas, seleccionadas y clasificadas, son sometidas a la etapa de salado, con el objetivo de que el pernil adquiriera cloruro sódico o sal común, sales del curado (nitratos y nitritos), y coadyuvantes de sales de curado (ascorbato y azúcares) en la cantidad necesaria para que una vez distribuidas por toda la pieza en las etapas posteriores, junto con la progresiva deshidratación que va sufriendo la pieza, se inhiba el desarrollo de microorganismos alterantes y potencialmente patógenos para el consumidor. La sal común proporcionará un ligero sabor salado en el producto final, y regulará la actividad enzimática endógena y reacciones químicas durante la maduración (Ventanas, 2001). Por otra parte, el nitrito le proporcionará el color rojo, al reaccionar con la mioglobina, formando nitrosomioglobina, pigmento típico de la carne curada. La disminución del contenido en humedad

durante la etapa de salado será debido al efecto osmótico producido por la sal que cubre la superficie del pernil (Boadas *et al.*, 2001). Las mermas que se producen en esta etapa del proceso son del 3 al 7 %, si se tiene en cuenta la sal absorbida se obtiene una cantidad total de agua perdida entre el 6 y el 10 % (Arnau, 1993).

El salado de jamones se puede realizar utilizando fundamentalmente cuatro tecnologías: en pilas de sal en el suelo, en cubos o contenedores, salazón en estanterías y salado por inmersión en salmuera. El salado en pilas es el más importante y común en España. Se realiza por apilamiento de las piezas en capas alternas de sal y jamones, evitando superar la altura de 6-8 jamones y no permitiendo el roce entre las piezas (figura 5).



Figura 5. Salado tradicional en pilas de sal.

El salado en cubos o contenedores es idéntico al anterior con la diferencia de que el apilado se realiza en recipientes de acero inoxidable. El salado en estanterías permite realizar la salazón pieza a pieza, de manera que cada jamón recibe la sal deseada. Finalmente, el salado por inmersión en salmuera es una nueva variante, la cual se está implantando en el salado de diferentes productos alimentarios, tales como: pez roca negro (Young *et al.*, 2003), bacalao (Andrés *et*

1. Introducción

al., 2005), queso manchego (Chiralt *et al.*, 1997), carne (Chiralt *et al.*, 2001), jamón (Barat *et al.*, 2004). A partir de este momento, a lo largo del apartado que trata del proceso de elaboración, únicamente se hará referencia a la primera tecnología, que es la mayoritariamente utilizada en el sector.

Es necesario tener en cuenta varios factores influyentes en este proceso como son la humedad relativa del saladero, la temperatura y la granulometría de la sal. La sal depositada en la superficie de los perniles tiene que hidratarse para poder penetrar en ellos, lo cual se consigue con el agua que fluye desde el interior del perril, por lo que es necesario que la humedad relativa de la cámara sea del 90-95%, favoreciendo los fenómenos de ósmosis y difusión en la masa muscular. La difusión salina se ve aumentada con el incremento de la temperatura (León *et al.*, 1994), pero es necesario mantener esa temperatura en un rango determinado para evitar la proliferación de microorganismos, ya que el perril no se encuentra estabilizado, por lo que la temperatura será de 0-3 °C. Además, una sal de grano grueso favorece el proceso de salado, al permitir la salida de agua y la formación de la salmuera con mayor facilidad (Ventanas, 2001).

En la actualidad, en los sistemas industrializados de elaboración de jamón curado, la permanencia del perril en la cámara de salado es de un día por kilogramo de perril aproximadamente, por lo que una pieza de 10 kilogramos, que es el peso medio que suelen tener las extremidades posteriores del cerdo ibérico, permanecerá unos 10 días en el saladero. En los sistemas de elaboración más tradicionales su permanencia es superior. Actualmente se ha podido reducir este intervalo de tiempo por el elevado control que se tiene de las condiciones ambientales de la cámara de salado. Por ello es posible

conseguir jamones estables con una menor cantidad de sal, aspecto este demandado en la actualidad por los consumidores. Además se ve favorecido el posterior desarrollo del sabor y el aroma debido a que se ven menos afectados los enzimas responsables de esas cualidades (Ventanas, 2001).

Una vez los perniles han permanecido el tiempo requerido en la cámara de salado, se elimina la sal superficial mediante lavado y cepillado. Seguidamente se dejan escurrir en cámaras durante un intervalo de tiempo no superior a 24 horas para eliminar el agua de lavado, proceso que se puede facilitar con un ligero aumento de la temperatura.

1.4.2. Post-salado.

En esta etapa se pretende conseguir la estabilización de la pieza de jamón. Ello se consigue mediante la distribución homogénea de la sal absorbida por el pernil durante la etapa de salado (Arnau *et al.*, 1995) por mecanismos de ósmosis y difusión, y a la progresiva pérdida de agua por parte de la pieza, la cual es debida fundamentalmente a un secado convectivo (Boadas *et al.*, 2001). De esta manera se reduce el valor de la actividad del agua, inhibiendo el desarrollo de microorganismos alterantes y controlando la actividad enzimática endógena, con lo que en etapas posteriores se podrá aumentar la temperatura ambiental. Al final de esta etapa el valor de la a_w en el interior del pernil debe ser inferior a 0,96 para evitar alteraciones microbianas y problemas de proteólisis anómala (Leistner, 1985).

Durante esta etapa se suele producir el alimonado del pernil mediante masajes sobre la masa muscular de forma manual o

1. Introducción

mecánicamente, con lo que se consigue la forma característica del producto final (Ventanas, 2001).

Industrialmente, esta etapa se desarrolla en cámaras frigoríficas con una temperatura de 3-5 °C y una humedad relativa en progresivo descenso de sus valores, que van desde el 85% hasta el 75% (figura 6). La duración de esta etapa oscila entre los 75-90 días, aunque puede ser superior dependiendo de las características de la materia prima, ya que a mayor peso y a mayor cantidad de grasa más lenta será la difusión de sal por toda la masa (Wood, 1966) y por consiguiente la estabilización de la pieza. Es muy importante controlar la humedad relativa del recinto para que el descenso del contenido en agua de la pieza transcurra a un ritmo adecuado evitando irregularidades en la humedad de los jamones. Por ello, dichos valores no deben ser superiores a los indicados evitándose la proliferación de microorganismos en la superficie del alimento. Pero tampoco deben ser inferiores, ya que se producirá una mayor pérdida de agua en la parte externa del pernil dado que la velocidad de evaporación sería mayor que la velocidad con que el agua migraría desde el interior hacia el exterior del producto, con el consecuente encostramiento y dificultad para el posterior correcto proceso de elaboración. Al final de la etapa de post-salado el jamón suele tener una merma acumulada del 10 al 15 % (Ventanas, 2001).

Tanto en esta etapa como en la de salado se producen procesos de hidrólisis de proteínas y de lípidos con la formación de compuestos intermedios, péptidos y aminoácidos libres en el caso de las proteínas y diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos en el caso de los lípidos (Ventanas, 2001).



Figura 6. Jamones en la cámara frigorífica durante la etapa de post-salado.

1.4.3. Secado.

A lo largo de esta etapa del procesado se produce un aumento de la temperatura y un descenso de la humedad relativa del local. Con ello se consigue la estabilización del color y un grado de secado que asegura totalmente la estabilización del pernil. Además, con la elevación de la temperatura, se favorecen las reacciones formadoras de los compuestos responsables del sabor y del aroma (Ventanas, 2001). Estas reacciones son fundamentalmente proteólisis y procesos de degradación lipídica. También se consigue que la grasa funda con el aumento de la temperatura e impregne las fibras musculares (Arnau, 1995). Parte de la grasa se perderá por el goteo de la misma desde la pieza.

Dependiendo de la zona de producción, del tipo de materia prima, de la calidad deseada en el producto terminado, del grado de industrialización del proceso, etc., las condiciones de temperatura y humedad relativa, y la duración de la etapa variarán. En los procesos tradicionales los perniles se secan en las partes altas de los locales dependiendo de las condiciones climáticas de la zona en ese

1. Introducción

momento. En los procesos más industrializados toda la etapa se realiza en cámaras, en las cuales se controlan las dos variables mencionadas (figura 7). La temperatura aumenta hasta los 25 °C progresivamente, en intervalos de aumento de 1-2 °C por semana. Esta etapa suele tener una duración de entre 3 y 9 meses. La humedad relativa desciende progresivamente desde las condiciones de post-salado hasta valores que varían entre el 60-80% (Ventanas, 2001).

Con el aumento de la temperatura se consigue una aceleración del secado del jamón. El valor de la a_w desciende en el interior de la pieza desde 0,96 hasta valores de 0,92 (Ventanas, 2001). Ello es debido a la eliminación de agua y a la migración de la sal desde las zonas más externas del producto hacia su interior, aumentando la concentración. Además, se produce la liberación de productos de la proteólisis que son depresores de la a_w .

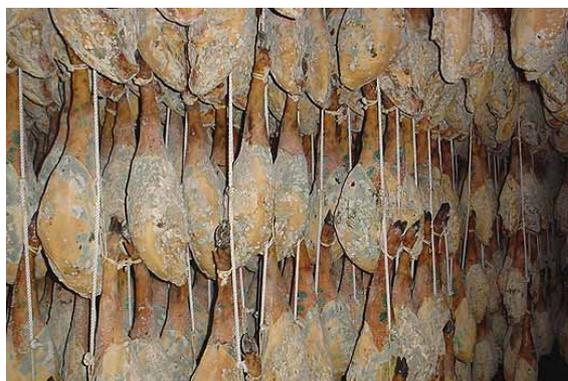


Figura 7. Jamones en cámara de secado.

1.4.4. Maduración en bodega.

El tiempo de permanencia en bodega puede variar desde los 9 meses hasta más de 2 años, tiempo que le confiere al jamón Ibérico

sus características y calidad reconocida. Durante esta etapa los jamones permanecen en bodegas situadas en las plantas bajas de los locales (figura 8). Por ello, se encuentran influenciados por las características climáticas del lugar, las cuales son las responsables de la mayor o menor permanencia del producto en la bodega (Ventanas, 2001).

La temperatura oscila entre los 6-15 °C en la época invernal y los 15-22 °C en la estival, dependiendo de la ubicación geográfica. La humedad relativa es de un 70%. Con todo ello, al variar las condiciones ambientales a lo largo del tiempo se obtiene el producto deseado. Por ello se intenta ubicar lo mejor posible esta etapa cronológicamente en el tiempo para que el jamón madure adecuadamente (Ventanas, 2001).

Con estas condiciones, se consigue que prosigan las reacciones generadoras de los compuestos responsables del sabor y aroma del jamón. Aparecen compuestos de bajo peso molecular con gran potencial sávido y aromático. Se trata de péptidos, aminoácidos y aminas procedentes de la hidrólisis de las proteínas, así como ácidos grasos libres, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres e hidrocarburos procedentes de la hidrólisis y oxidación de lípidos.

Durante esta etapa el contenido acuoso del jamón disminuye hasta unos niveles que permiten la estabilidad del producto a temperatura ambiente. La a_w es ahora menor a 0,90 en el interior del alimento (Ventanas, 2001). Además, esta situación posibilita que el jamón adquiera su textura característica y fije sus connotaciones organolépticas peculiares.



Figura 8. Jamones durante la etapa de maduración.

1.5. Variables del proceso de elaboración del jamón.

1.5.1. Materia prima.

1.5.1.1. Obtención del pernil.

La calidad de la materia prima es muy importante en la elaboración del jamón curado. Esta calidad se verá directamente afectada por la alimentación recibida por los cerdos durante su crianza. El jamón ibérico se caracteriza por su gran cantidad de grasa intramuscular y subcutánea, la cual produce el cerdo en mayor proporción durante el último periodo de su crianza. De esta manera, en este periodo se le alimenta con bellotas en los sistemas más extensivos, y con piensos en los cuales aparezcan los ácidos grasos deseados, en los sistemas más intensivos (Ventanas, 2001).

Por otra parte, la manera en la que se obtienen los perniles a partir del cerdo también queda reflejada en la calidad de la materia prima. Las operaciones de sacrificio y faenado deben realizarse en

condiciones óptimas de higiene para reducir en lo posible la contaminación exógena y endógena. Pero pese a ello, es inevitable la presencia de microorganismos, y por eso es muy importante mantener las canales y las piezas refrigeradas para minimizar la multiplicación de los microorganismos contaminantes (Ventanas, 2001).

A continuación, las piezas aptas para la elaboración del jamón curado, son sometidas a la operación de perfilado. Consiste en la eliminación en la extremidad posterior de parte de la musculatura, grasa y piel para conseguir una pieza de unas proporciones determinadas. En el caso del pernil ibérico se sigue el típico corte serrano. Se caracteriza por la forma en V de la pieza muscular y por tener la piel perfilada también en forma de V a nivel de la región del codillo (Ventanas, 2001).

Tras el perfilado de la extremidad posterior, se procede al sangrado de la misma. En esta operación se evacua mediante presión manual o mecánica los restos de sangre que pueda presentar el pernil, que favorecería la alteración del producto durante el procesado debido a la creación de zonas con pH neutro. La presión se realiza desde la parte inferior a la superior en la cara medial de la pieza siguiendo la trayectoria de las arterias femoral y safena. Esta operación se vuelve a realizar después del proceso de salazón.

1.5.1.2. pH de la materia prima

Previo a la realización del perfilado del pernil se debe medir su pH para determinar si dicha pieza es apta para el proceso de elaboración. Dependiendo del valor obtenido de pH, el cual se puede

1. Introducción

obtener mediante electrodo de punción sobre el músculo semimembranoso o abductor a los 45 minutos y a las 24 horas del sacrificio, se presentan las siguientes posibilidades:

- El pernil será el idóneo para el procesado si a los 45 minutos su pH es superior a 6,2 y a las 24 horas oscila entre 5,6 y 6,2.

- Si por el contrario, en la medición realizada a los 45 minutos el valor obtenido es inferior a 6,2, se tratará de una carne PSE, o carnes pálidas, blandas y exudativas (del inglés Pale, Soft and Exudative). El estrés impuesto a los animales por el transporte y el sacrificio, estimula reacciones de glicólisis muy bruscas en los primeros momentos *post-mortem*. La glucólisis anaerobia será muy exagerada tras el sacrificio, con la consiguiente producción excesiva de ácido láctico. Ello también influye en la capacidad de retención de agua por parte de la carne. Esta capacidad disminuye al acercarse el valor de pH al del punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares ($\approx 5,2$). Cuando el pH se encuentra próximo a este valor las fuerzas de repulsión entre las distintas miofibrillas es mínima, reduciéndose el espacio existente entre ellas, y con ello la consecuente disminución de la capacidad de retención de agua.

- Si en la medición realizada a las 24 horas el valor del pH es superior a 6,2, se dice que es una carne DFD, o carnes de corte oscuro (del inglés, Dark, Firm and Dry). Este caso es más común en cerdo Ibérico. Ello puede ser debido a que el animal antes del sacrificio tenga prácticamente las reservas de glucógeno agotadas (excesivo ejercicio, periodo de ayuno

prolongado, etc.), lo que conlleva una menor producción de ácido láctico durante la glucólisis anaeróbica, y por tanto menor descenso del pH. En estas carnes aumenta la capacidad de retención de agua, ya que el espacio entre las distintas miofibrillas aumenta. Estos perniles no son adecuados para la elaboración de jamón curado, debido a los elevados valores de pH, que favorecen el desarrollo microbiológico. Durante el proceso de salado captan menor cantidad de sal, lo que facilita el desarrollo microbiano. Además, el proceso de secado de estas carnes se ve dificultado por su elevada capacidad de retención de agua.

1.5.1.3. Almacenamiento.

Una vez obtenida la materia prima, ésta se mantiene en cámaras de refrigeración a 0-3 °C durante 1-2 días para bajar la temperatura interna del pernil, y dificultar el desarrollo microbiano. También es posible que los perniles sean congelados a temperaturas cercanas a los -18 °C (Ventanas, 2001). Con ello se permite la conservación de los perniles durante mayor tiempo, debido a que las bajas temperaturas influyen en las reacciones químicas, bioquímicas y enzimáticas, reduciendo su velocidad. Ello provoca la eliminación de una gran cantidad de microorganismos y la reducción del crecimiento de otros, aunque las esporas bacterianas y fúngicas no se ven afectadas. Además, la congelación provoca un cambio del agua de la carne, de estado líquido a estado sólido, acompañado de una progresiva concentración de los solutos en la fase líquida no congelada del alimento, con lo que se reduce la a_w , y se modifica la fluencia de la membrana celular (Genot, 2002).

1. Introducción

Durante la congelación de la materia prima y el periodo de almacenamiento se producen interrupciones de la estructura muscular del pernil formándose cavidades en su interior (Girard, 1991; Barreto *et al.*, 1994; Ngapo, 1999; Barat *et al.*, 2004). Se trata de roturas de las membranas celulares, tejido conjuntivo y fibras, que posiblemente tendrán consecuencias en la elaboración del jamón.

Los perniles sometidos al proceso de congelación deberán ser descongelados en la planta de procesado antes de proceder a su salado. La descongelación se realiza de forma controlada, con el fin de restablecer la presión osmótica de la célula muscular sin provocar mayores deterioros. Este proceso se lleva a cabo en cámaras con aire forzado (calor/frío), donde se realiza una primera fase de calentamiento suave a temperatura no superior a 10 °C y otra posterior de homogeneización a temperatura de refrigeración (2-5 °C). En ningún caso la diferencia de temperatura entre la zona interna y externa debe superar los 5 °C. El proceso de descongelación habrá finalizado cuando la temperatura en las zonas profundas del pernil sea de 0 °C.

El ciclo de congelación/descongelación no produce diferencias objetivas de calidad en el producto final, es decir, en el jamón curado, ni en el proceso tecnológico, pero la penetración de sal y el balance salino serán alcanzados con mayor rapidez (Poma, 1989).

1.5.2. Agentes de curado.

1.5.2.1. Cloruro de sodio.

La sal es el condimento más importante y usado que posee la tecnología de los alimentos. Juega un papel importante en el proceso

de salado, actuando como conservante inorgánico, además de contribuir a mejorar el sabor.

Debido a la importancia de la sal en la elaboración del jamón curado, es necesario controlar su calidad. Por ello, una sal considerada de calidad debe contener un 97% de cloruro sódico, un 1% de agua, un máximo de 1,5% de impurezas (Calcio, Hierro y Magnesio) y el 0,5% restante de mezclas insolubles en agua.

Una de las características más importantes es la acción bactericida de la sal, aunque como se mencionó con anterioridad, la sal no es propiamente un agente antiséptico ya que no destruye las bacterias, su papel es detener el crecimiento de la mayoría de ellas utilizando concentraciones suficientemente elevadas. La sal inhibe el desarrollo microbiano como consecuencia del incremento de la presión osmótica del sistema. Ello implica una disminución del valor de la actividad de agua al fijarse las moléculas de agua alrededor de los iones de sodio, por lo que se reduce la cantidad de agua disponible para los microorganismos, reduciéndose su capacidad de desarrollo.

1.5.2.2. Nitratos y nitritos.

En la salazón se utiliza normalmente el nitrato potásico (E-252) y el nitrito sódico (E-250). La utilización del nitrato y el nitrito tiene gran importancia en el salado debido a que intervienen en el proceso del desarrollo del color y sabor, y además tienen efecto en la inhibición microbiana (Girard, 1991). La aparición del color rojizo típico de la carne curada es debido a la fijación del óxido nitroso sobre el grupo hemo de la mioglobina, dando lugar a la nitrosomioglobina. El óxido nitroso se forma a partir de los nitratos y

1. Introducción

los nitritos como consecuencia de la reducción de éstos, siendo más rápida su formación a partir de los nitritos, ya que los nitratos tienen que reducirse previamente a nitritos. En el jamón curado, los nitratos y nitritos estabilizan el color del producto debido a la formación del pigmento del curado. Para la fijación del color y sabor son suficientes niveles de nitrito muy bajos, del orden de 15 a 50 ppm (Ventanas, 2001).

Por otra parte, también inhiben el crecimiento de microorganismos. Este poder lo desarrolla fundamentalmente el nitrito, el cual depende del contenido en sal, del pH y de la presencia de nitrato, del número de bacterias, de la temperatura de almacenamiento y del hecho que el producto haya sufrido un tratamiento térmico. Además se tiene constancia de que reaccionan con las proteínas de la carne, siendo en parte los responsables de la textura de los productos cárnicos elaborados.

1.5.2.3. Agentes reductores.

Para acelerar el desarrollo del color, a las mezclas para el curado de la carne se incorporan diversos agentes reductores. Antes de que se desarrolle el color típico de estos productos, el nitrito debe reducirse a óxido nítrico, mediante una reacción que se ve acelerada por los agentes reductores.

Uno de los agentes reductores utilizados es el ácido ascórbico (vitamina C), el cual se obtiene por procedimientos enzimáticos a partir de la glucosa. Es ampliamente utilizado en la salazón, ya que reduce muy fácilmente el nitrito favoreciendo la formación de nitrosomioglobina. Además produce una disminución de la formación

de nitrosaminas en el producto. Por la combinación del ácido ascórbico con el sodio se forma su sal sódica, la cual posee una acción antioxidante similar a la del ácido libre.

Otro tipo de sustancias añadidas a la mezcla de curado son los azúcares, siendo los más importantes la glucosa y la sacarosa. Aunque no son capaces de reducir el nitrito a óxido nitroso, favorecen el desarrollo de la flora del curado por el aporte de una fuente rica en glúcidos y energía, mejoran el sabor y contribuyen a la formación del aroma (Ventanas, 2001).

1.5.3. Presión.

Tradicionalmente, las diferentes etapas en el proceso de elaboración del jamón curado se realizan a presión atmosférica. Sin embargo, en la etapa de salado se suelen apilar los pernils unos encima de otros, alternándolos con capas de sal, lo que provoca una mayor presión en los pernils de los niveles situados en las capas inferiores, favoreciendo la salida de agua de su interior, lo que lleva asociado una mayor solubilización de la sal de su alrededor, favoreciendo su entrada en el pernil.

Recientemente se está implantando para la producción de diversos productos salados la inmersión en un tanque con salmuera aplicando un pulso de vacío (Chiralt *et al.*, 2001; Fito *et al.*, 2001; Barat *et al.*, 2004; Grau, 2002)). Dicho tipo de salado suele ser llevado a cabo en dos pasos, después de que el producto halla sido sumergido en el tanque que contiene la fase líquida. En el primer paso, se establece la presión a vacío ($p_1 \sim 50-100$ mbar) al sistema durante un periodo de tiempo corto (t_1) en el tanque, que previamente ha sido cerrado. Así se promueve la expansión y la salida del gas interno del producto,

1. Introducción

que arrastra consigo líquido procedente de los poros (Barat *et al.*, 2001; Chiralt *et al.*, 2001; Fito *et al.*, 2001; Deumier *et al.*, 2003; Barat *et al.*, 2004) (figura 3). En el segundo paso la presión atmosférica (p_2) es restablecida en el tanque durante un tiempo (t_2) y la compresión conduce a una gran reducción del gas restante en los poros y al subsiguiente flujo de líquido externo hacia el interior de la estructura porosa (figura 3). Además se ha de tener en cuenta que la compresión puede reducir el tamaño de los poros dependiendo de la resistencia mecánica de la matriz sólida.

La porosidad de la matriz sólida es la propiedad estructural más relevante envuelta en la efectividad de la impregnación a vacío. En productos vegetales la porosidad puede ser muy elevada (20-30%) y por ello la efectividad de la impregnación a vacío puede ser enorme. Sin embargo, los productos cárnicos y pescados son mucho menos porosos y una parte importante de la matriz está ocupada por fase líquida libre, la cual debe ser eliminada de la matriz con cambios de presión.

Con la utilización de esta nueva tecnología es posible alcanzar una serie de ventajas, como por ejemplo la disminución del tiempo de salado y la diseminación de la sal por el producto de forma más homogénea (Barat *et al.*, 1998), así como un incremento de la ganancia de sal y una disminución de la pérdida de agua (Deumier *et al.*, 2003).

1.6. Actividad enzimática en el jamón curado

La calidad del jamón ibérico y en general de productos similares, como es el caso de jamón serrano, jamón de parma y jamón St

Daniele, viene determinada en primera instancia por el tipo de materia prima empleada, por las condiciones de proceso, pero principalmente viene dada por las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo al interior de este tipo de productos durante el proceso de elaboración, principalmente las reacciones de lipólisis y proteólisis, las cuales se llevan a cabo en su mayoría durante el proceso de maduración, contribuyendo al desarrollo de características tan importantes como la textura y el sabor (Toldrá *et al.*, 1992; 1997a).

1.6.1. Acción de las proteasas.

A través del desarrollo del proceso de elaboración de jamón curado, se desarrollan una serie de reacciones proteolíticas que en general siguen un esquema que se puede resumir en tres etapas. En la primera se presenta una desnaturalización de las proteínas miofibrilares, la cual da como resultado la formación de polipéptidos de tamaño intermedio, los cuales son el resultado de la progresiva desaparición de la miosina y las troponinas C e I. En la segunda etapa se presenta la degradación de polipéptidos de tamaño pequeño por parte de las peptidasa, estos polipéptidos son asociados con sabores específicos en el jamón curado, los cuales contienen mayoritariamente serina, glicina, alanina, arginina, treonina y leucina (Aristoy *et al.*, 1995), aunque este mecanismo no se encuentra totalmente estudiado. En la tercera etapa se presenta la generación de péptidos de tamaño muy pequeño y aminoácidos libres, los cuales son el resultado de di y tri peptidilpeptidasas y aminopeptidasas, demostrando el intenso proceso de proteólisis que se desarrolla en los largos procesos de elaboración del jamón curado (Toldrá *et al.*, 1998)

1. Introducción

1.6.1.1. Endopeptidasas musculares.

Dentro de la gran variedad de proteinasas existentes en el músculo las mas estudiadas han sido las catepsinas, tales como catepsinas B, D, H y L, las cuales con proteinasas lisosomales de tamaños pequeños (20 – 40 kDa), debido a que su rango de acción se encuentra en valores de pH ácidos. Este tipo de enzimas son relativamente estables a través del proceso de elaboración del jamón curado (Toldrá *et al.*, 1997b), siendo las responsables del rompimientos y degradación de diferentes proteínas miofibrilares (Zeece *et al.*, 1989; Matzakura *et al.*, 1981).

Por otro lado podemos encontrar las calpinas, entre las que podemos encontrar las calpains I y II, las cuales están distribuidas en el sarcoplasma de las fibras musculares, así como en la región z de las miofibrillas. Son enzimas activadas por calcio y son las responsables de la degradación de proteínas como: troponina I, tropomiosina, proteína C, desminina, titina y nebulina (Goll *et al.*, 1983; Koohmaraie, 1994). La actividad de este tipo de enzimas desaparece después de la etapa de salado (Sárraga, 1992; Rosell *et al.*, 1996)

1.6.1.2. Exopeptidasas musculares.

Este tipo de enzimas presentan gran importancia en las últimas etapas de degradación proteolítica. Dentro de este grupo de enzimas podemos encontrar las aminopeptidasas, entre las que se destacan: Aminopeptidasa B, Leucil aminopeptidasa, Alanil aminopeptidasa y Piroglutamil aminopeptidasa. Estas enzimas se encuentran en el sarcoplasma del músculo en porcinos y son activadas por valores de

pH neutro, presentando una muy buena estabilidad a través del proceso de elaboración de jamón curado, recuperando la actividad hacia el final del proceso (Toldrá, 1992).

1.6.2. Acción de las lipasas.

El inicio en los cambios de los lípidos del jamón ibérico ocurre en las primeras etapas del proceso de elaboración, el salado y el post-salado (Pezzani *et al.*, 1998), desarrollándose la mayor parte de la lipólisis en los primeros 5 meses del proceso (Motilva *et al.*, 1993b; 1993c), siendo responsables los sistemas enzimáticos del músculo, del desarrollo de los ácidos grasos libres.

1.6.2.1. Lipasas del tejido adiposo.

Básicamente se pueden encontrar 3 tipos de enzimas lipolíticas: Lipasa lipoproteica, la cual presenta especificidad para esteres primarios, teniendo preferencia por ácidos grasos en la posición 1 (Miller *et al.*, 1981); La lipasa hormona-sensitiva, la cual presenta un pH óptimo de acción en la neutralidad, hidrolizando las uniones éster en los triacilglicerolos, dando como resultado diacilglicerolos; La monoacilglirerol lipasa es la responsable de la hidrólisis de uno o dos monoacilglicerolos. Este tipo de enzimas presentan actividad durante las primeras etapas del proceso de elaboración del jamón curado, aunque las enzimas neutras presentan actividad en las etapas de secado y madurado (Motilba *et al.*, 1993c)

1.6.2.2. Lipasas musculares.

Aunque la mayor parte de los procesos lipolíticos son llevados a cabo en el tejido adiposo, el alto contenido de grasa intra-muscular,

1. Introducción

hace necesario el entendimiento de los posibles cambios lipolíticos que se llevan a cabo dentro del músculo, siendo responsable de ellos mayoritariamente la lipasa acida lisosomal, la cual esta localizada en los lisosomas y es causante de la hidrólisis de di y tri monoacilgliceroles, en condiciones de pH entre 4.5 a 5.5 (Imanaka *et al.*, 1984). Es importante entender que las lipasas musculares pueden llegar a estar activas aun durante los primeros 15 meses de proceso (Toldrá *et al.*, 1997b).

Se puede decir que por la presencia de los diferentes procesos lipolíticos y proteolíticos, los largos tiempos de proceso, así como la diferencia substancial en la materia prima frente a otro tipo de jamones, se encuentra la base para el desarrollo del sabor, aroma y textura característico en el jamón Ibérico, haciéndolo un producto tan apetecido en el mercado europeo y hoy por hoy en el mercado mundial.

2. JUSTIFICACIÓN

La industria de elaboración de jamón curado tiene una gran importancia en el sector cárnico español, tanto por su volumen de producción como por su importancia económica. Adicionalmente la elaboración y comercialización de este tipo de productos ha venido extendiéndose a otras regiones, tales como Bolivia, Argentina, Chile, donde se ha incrementado su consumo.

Actualmente la elaboración del jamón curado, aún siendo un proceso tradicional esta incorporando modificaciones con la finalidad de mejorar la producción sin alterar la calidad del producto final y al mismo tiempo adaptarse a la demanda de los consumidores. Desde este punto de vista es conveniente destacar que actualmente el sector ha incorporado la utilización de materia prima congelada y se plantea el reducir los niveles de sodio en el producto final.

La utilización de materia prima congelada tiene una serie de ventajas así como unas dificultades inherentes, entre las que se encuentran la falta de control de la materia prima utilizada para su congelación, la necesidad de uso de cámaras de descongelación, así como la falta de conocimiento del comportamiento del pernil congelado con respecto al refrigerado y, por lo tanto, de las modificaciones que se podrían ó deberían aplicar al proceso tradicional.

Uno de los problemas de la industria de jamón curado es el hecho que como consecuencia del drenaje de las pilas de salado, se produce la generación de efluentes que están constituidos básicamente por una salmuera saturada con alta carga en materia orgánica,

2. Justificación

procedente de los propios jamones, a la que se le unen los residuos generados en el proceso de lavado al que son sometidos los jamones al final de la etapa de salado. Estos efluentes representan un fuerte impacto ambiental, que exige métodos de depuración no convencionales, por la alta conductividad eléctrica de ellos (Bello, 2008).

El uso del proceso de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada se muestra como una alternativa al proceso actual, sobre todo cuando se utiliza materia prima congelada. Mediante este proceso se logra una descongelación controlada a una temperatura adecuada, sin necesidad de utilizar cámaras para dicho fin y un salado más rápido. Además, la aplicación de vacío durante el descongelado-salado en salmuera conlleva ventajas importantes en el proceso, como es un mayor acortamiento del tiempo de salado y la disminución del volumen de salmuera a utilizar durante el procesado del producto (Barat *et al.*, 2006; 2005; 2004), así como la reutilización de esta.

Así y dadas las mejoras que la técnica de salado simultáneo en salmuera saturada puede introducir en el proceso tradicional de elaboración de jamón ibérico, se plantea en la presente tesis evaluar la aplicación de esta técnica a dicho proceso. Para ello se definieron los objetivos principal y específicos que se detallan presentan a continuación.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general.

Estudiar la aplicación de la tecnología de salado y descongelado simultáneo en salmuera saturada, sobre el proceso de elaboración de jamón Ibérico a partir de materia prima congelada.

3.2. Objetivos específicos.

- 1- Caracterizar la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico, así como sobre su calidad final.

- 2- Aplicar la tecnología de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada al proceso de elaboración de jamón ibérico a partir de materia prima congelada.
 - a. Estudiar el proceso de descongelado en salmuera saturada del pernil ibérico congelado.
 - b. Determinar las condiciones de salado en salmuera con y sin aplicación de un pulso de vacío.
 - c. Evaluar el efecto del método de salado en salmuera sobre la etapa de post-salado.
 - d. Evaluar el efecto del método de salado en salmuera sobre la etapa de curado y del producto final.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

La realización de la presente tesis doctoral, se ha enmarcado dentro del proyecto PETRI (PTR1995-0754-OP-03) de investigación financiado por el Plan Nacional de I + D del Ministerio de Educación y Cultura: Dirección general de Enseñanza Superior e Investigación y Deporte. En ella se lleva a cabo el desarrollo del proyecto, aunque los análisis realizados en los subproyecto 2 y 3 han quedado fuera de ésta al ser realizados por las otras dos Instituciones participantes.

Título del proyecto: "Desarrollo de una tecnología basada en el salado y descongelación en salmuera saturada, con y sin empleo de la Impregnación a vacío, para la obtención de jamones curados a partir de perniles congelados procedentes de cerdo de raza Ibérica"

Duración: 15/04/2004 a 15/04/2007 (+4 meses de prórroga)

Coordinador del proyecto: IIAD-DTA (UPV) Pedro Fito Maupoey

Subproyecto 1: IIAD-DTA (UPV). IP: José Manuel Barat.
Financiación: 72.300 €

Subproyecto 2: IATA (Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos CSIC). IP: Fidel Toldrá. Financiación: 55.000 €

Subproyecto 3: UNEX (Universidad de Extremadura). IP: Teresa Antequera. Financiación: 38.000 €

Empresa colaboradora: RESTI SÁNCHEZ, SA

4.1. Plan de trabajo.

Para lograr los objetivos propuestos se desarrolló el plan de trabajo expuesto en la figura 9 en el que se consideraron dos fases:

Fase I. Caracterización de la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico, así como sobre su calidad final.

En esta primera fase de la tesis se plantea caracterizar la influencia del uso de materia prima congelada en el proceso tradicional de elaboración de jamón ibérico. A tal efecto se consideran básicamente las concentraciones objetivo de sal requerida, de acuerdo con el proceso llevado a cabo por la empresa colaboradora (RESTI-SANCHEZ) y la evolución de los diferentes parámetros fisicoquímicos durante el proceso de elaboración tradicional.

Para ello se procederá al salado de perniles frescos y descongelados procedentes de cerdo Ibérico, mediante el método tradicional con sal sólida, evaluando las etapas de salado, post-salado y curado. Esta caracterización será básica en la posterior fase del estudio dado que los datos obtenidos actuarán como valores de referencia.

Fase II. Aplicación de la tecnología de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada, al proceso de elaboración de jamón ibérico a partir de materia prima congelada.

En esta fase se pretende aplicar la técnica "salado/descongelado simultáneo en salmuera" con y sin aplicación de pulso de vacío sobre

el proceso de elaboración de jamón ibérico. Para ello se plantean cuatro etapas:

a. Caracterización del proceso de descongelación de los perniles por inmersión en salmuera saturada

En esta etapa de la segunda fase se plantea la evaluación del proceso de descongelado del pernil ibérico utilizando como agente para su descongelación salmuera saturada. Este estudio tiene como finalidad, y en base a investigaciones realizadas en cerdo blanco, determinar el momento de descongelado del pernil, dado que es este momento el definido por otros autores como el idóneo para la realización de un pulso de vacío.

b. Caracterización de la etapa de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío.

El estudio ha realizar en esta etapa se basa en determinar el tiempo de salado, mediante el empleo de salmuera saturada, necesario para alcanzar la misma concentración salina que en el proceso tradicional. Para ello se tomara como valor objetivo de sal el obtenido en la primera fase del estudio. Además se caracterizara el proceso de salado teniendo en cuenta los procesos difusivos que se producen en ella. Para ello se realizaran dos tipos de salado en salmuera; salado en salmuera sin aplicación de pulso de vacío y salado en salmuera con aplicación de un pulso de

4. Materiales y métodos

vacío una vez descongelado el pernil en la misma salmuera.

- c. Caracterización de la etapa de post-salado de jamones salados en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío.*

En esta etapa se pretende evaluar cual es la incidencia de la técnica de salado en salmuera sobre la etapa de post-salado. Para ello se salarán en salmuera perniles ibéricos congelados, con y sin aplicación de un pulso de vacío durante el tiempo establecido en la etapa anterior, los cuales serán evaluados durante esta etapa del procesado. Los datos obtenidos serán contrastados con los obtenidos por jamones ibéricos elaborados mediante el proceso tradicional.

- d. Estudio de la influencia del proceso de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada, sobre el producto final.*

Finalmente en esta etapa se pretende evaluar las características del jamón ibérico elaborado mediante el salado/descongelado simultáneo en salmuera, comparando dichos resultados con los obtenidos en los jamones elaborados mediante el proceso tradicional.

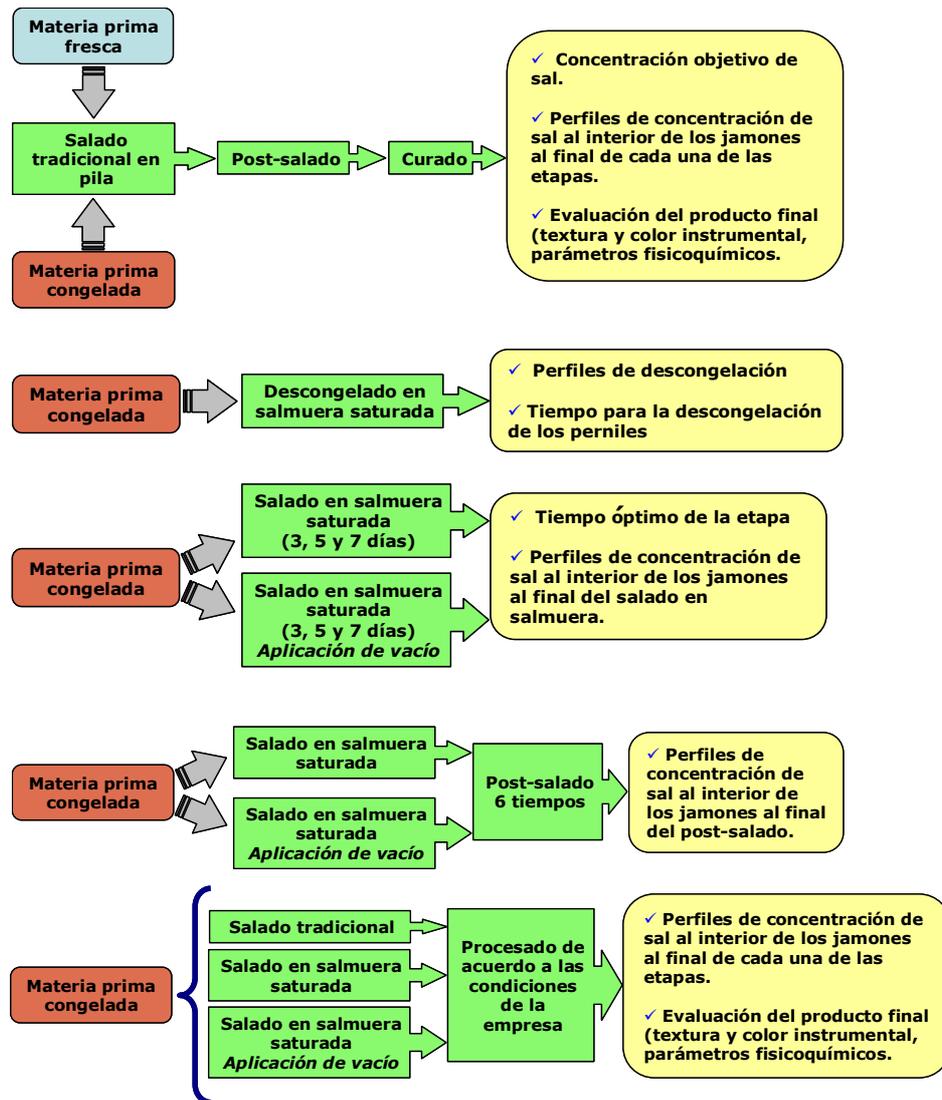


Figura 9. Plan de trabajo

4.2. Materia prima.

4.2.1 El pernil

Para la realización de las diferentes etapas del proyecto, se buscó la máxima homogeneidad en las piezas utilizadas, dada la gran heterogeneidad en la estructura interna del pernil. Para ello, en colaboración con la empresa colaboradora, se fijaron ciertos parámetros como:

- ✓ Cerdos procedentes de una misma granja.
- ✓ Sacrificio en un único lote para conseguir el mismo tiempo post-mortem.
- ✓ Selección de perniles cuyos valores de pH estuviesen entre 5.8 y 6.1, evitando el riesgo de tener carnes PSE o DFD.
- ✓ Peso de los perniles comprendido entre $11,5 \pm 0,5$ kilogramos.

En el estudio se emplearon un total de 203 perniles, de los cuales 24 se utilizaron frescos y 179 congelados. La distribución del número de perniles para cada una de las fases se presenta a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Distribución de los pernils para cada una de las fases del estudio.

Fase	Total de pernils	Distribución
I	24 pernils frescos 24 pernils descongelados	24 pernils para estudio del proceso con materia prima fresca 24 pernils para estudio del proceso con materia prima congelada
II a.	3 pernils congelados	Estudio de proceso descongelado en salmuera saturada
II b.	36 pernils congelados	18 pernils para estudio de etapa de salado sin pulso de vacío (6 para cada tiempo) 18 pernils para estudio de etapa de salado con pulso de vacío (6 para cada tiempo)
II c.	36 pernils congelados	18 pernils para estudio de etapa de post-salado sin pulso de vacío (3 para cada tiempo; 6 tiempos) 18 pernils para estudio de etapa de post-salado con pulso de vacío (3 para cada tiempo; 6 tiempos)
II d.	40 pernils congelados	20 pernils para estudio de producto final, salado sin pulso de vacío
	40 pernils congelados	20 pernils para estudio de producto final, salado con pulso de vacío 40 pernils para estudio de producto final, salado tradicional.

Las condiciones de refrigeración y congelación se detallan a continuación:

- ✓ *Refrigeración de los pernils*: Tras el sacrificio los pernils fueron introducidos en cámara de refrigeración a 3°C con la finalidad de reducir su temperatura hasta la temperatura de refrigeración, para posteriormente ser salados (pernils FSS).
- ✓ *Congelación/Descongelación de los pernils*: Los pernils destinados a este proceso fueron congelados en un túnel de congelación a -40°C y mantenidos a -18°C. Para aquellos pernils que fueron utilizados descongelados, éste proceso se realizó en cámara a 3°C.

4.3. Metodología.

4.3.1. FASE I: Caracterización de la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico, así como sobre su calidad final.

Estudio de la etapa de salado

Una vez elegidos los perniles en función de los criterios demandados, se realizó el registro de su peso en fresco. Posteriormente los perniles destinados al estudio del proceso con materia prima fresca (FSS), pasaron directamente al proceso de salado tradicional con sal sólida, donde se introdujeron en una pila de sal en la que permanecieron un total de 13 días (1,1 días de salado/kg de pernil).

Por otra parte, los perniles destinados al estudio de salado y post-salado con materia prima descongelada (DSS), se sometieron al proceso de congelación/descongelación como se mencionó anteriormente. Tras la descongelación de los perniles, se les volvió a registrar su peso, logrando determinar de esta forma la pérdida de masa sufrida por los perniles durante este proceso. Posteriormente, se introdujeron en la pila de salado, donde permanecieron allí un total de 9 días (0,78 días de salado/kg de pernil).

Las condiciones de salado de los perniles frescos y descongelados fueron establecidas por la empresa colaboradora. Una vez salados, los veinticuatro perniles fueron lavados para eliminar la sal superficial, dejándolos escurrir en cámaras de refrigeración. Tras esto, se les volvió a registrar el peso a todos los perniles,

obteniéndose así la variación de masa que sufrieron estos en la etapa de salado. Toda esta etapa se realizó en la empresa colaboradora, con la finalidad de no alterar el proceso industrial, bajo unas condiciones de 3°C y 95% H.R.

Finalizada la etapa de salado, doce de estos perniles (6 FSS y 6 DSS) fueron trasladados desde Cáceres al Departamento de Tecnología de Alimentos en la Universidad Politécnica de Valencia, para la realización de los análisis correspondientes.

Estudio de la etapa de post-salado

Para esta etapa se fijó una duración de 60 días, tiempo establecido por la empresa en su procesado habitual, en la que los 36 perniles restantes (18 FSS y 18 DSS) se mantuvieron en cámaras frigoríficas a una temperatura de 3°C y humedad relativa del 90% con la finalidad de favorecer la difusión interna de la sal. Una vez transcurridos estos 60 días, se les volvió a registrar el peso, obteniendo la merma sufrida durante esta etapa. 12 de estos perniles (6 FSS y 6 DSS) fueron trasladados al Departamento de Tecnología de Alimentos de la U.P.V, para iniciar la toma de muestras y analizar los cambios físico-químicos transcurridos en esta etapa.

Estudio de la etapa de curado y caracterización del producto final

El proceso de curado se llevo a cabo de acuerdo a las condiciones establecidas por la empresa colaboradora. Los jamones restantes fueron mantenidos en las instalaciones de ésta, determinándose el final del proceso en base a la merma acumulada de los jamones (\approx 30%). Durante el proceso se realizaron pesajes periódicos a los

4. Materiales y métodos

jamones, con el fin de establecer el comportamiento de la variación de masa de estos. Al final del proceso 12 de los jamones (6 de cada tipo de materia prima) fueron enviados a las instalaciones del departamento de veterinaria de la Universidad de Extremadura y los 12 restantes fueron al Departamento de Tecnología de Alimentos de la U.P.V, para iniciar la toma de muestras y analizar los cambios físico-químicos transcurridos en esta etapa, así como las determinaciones de textura y color correspondientes.

4.3.2. FASE II: Aplicación de la tecnología de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada, al proceso de elaboración de jamón ibérico a partir de materia prima congelada.

a. Caracterización del proceso de descongelación de los perniles por inmersión en salmuera saturada.

Con la finalidad de conocer la evolución de la temperatura en el interior del pernil durante su descongelación, y el momento de aplicación del pulso de vacío en los jamones que fueran a ser sometidos a esta aplicación, se procedió al estudio de dicho fenómeno en el medio de salado a emplear en las experiencias posteriores. Para ello, se perforaron 3 perniles en 5 diferentes puntos (figura 10), en diferentes zonas del mismo. La magnitud de dichas profundidades tuvo como lugar de partida la zona magra del pernil, correspondiendo la profundidad de 9 cm al centro del producto. Las profundidades en las que se situaron las sondas fueron tomadas de forma equidistante con el objetivo de evaluar un perfil transversal del pernil.

En los agujeros practicados al pernil se insertaron sondas PT100. A continuación se volvió a introducir el pernil en la cámara de congelación, donde permaneció 48 horas, para que los orificios realizados volvieran a tener la temperatura inicial de -18°C .

Una vez transcurrido este tiempo, el pernil con las sondas se introdujo en salmuera saturada a 3°C . Las variaciones de temperatura tomadas por las sondas fueron registradas y almacenadas por un equipo DATA LOGGER de HP, que mediante un software facilitó el posterior análisis de los datos.

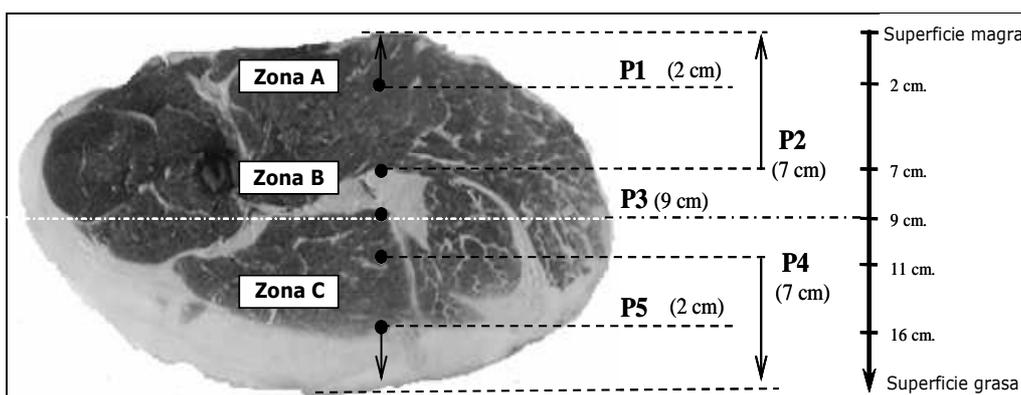


Figura 10. Puntos de la sección transversal del pernil para el registro de temperaturas durante el estudio del proceso de descongelado en salmuera saturada.

b. Caracterización de la etapa de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío.

El salado de los perniles en salmuera, con y sin aplicación de vacío, se realizó en el equipo diseñado por el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y construido por la empresa Metalquimia S.A., Girona (España), bajo la licencia de la Universidad Politécnica de Valencia (figura 11).

4. Materiales y métodos

Para realizar el salado inicialmente se tuvo que preparar la salmuera a emplear. Para ello en el depósito con agitador se preparó la salmuera necesaria para el llenado del tanque (aproximadamente 450 L). Ésta se llevó a saturación (26,3% m/m). Una vez preparada, se trasladó al tanque de salado donde se atemperó a 3°C gracias al equipo de refrigeración (figura 11).

Los perniles congelados a -18°C se introdujeron dentro de la salmuera, recirculándose ésta dentro del tanque para conseguir una mayor homogeneidad en el líquido y mantener la temperatura a 3°C. El tiempo de salado fue 3, 5 y 7 días según el caso. Transcurrido este tiempo, se sacaron las piezas y se tuvieron durante 24 horas escurriendo en una cámara a 3°C, para después proceder a la toma de muestras y a los análisis físico-químicos de variación de peso, contenido en sal, contenido en agua, contenido en grasa, y actividad del agua. A este tipo de salado fueron sometidos 18 perniles, 6 para cada tiempo de salado los cuales se identificaron como SPV.

El salado de los perniles en salmuera con pulso de vacío se realizó de forma idéntica a la anteriormente descrita, con la salvedad de que se aplicó un pulso de vacío de 50 mbar durante 3 horas una vez los perniles estuvieron descongelados (tiempo establecido en el punto anterior). Tras el pulso de vacío se restituyó la presión atmosférica en el tanque, permaneciendo las piezas el resto del tiempo de salado a dicha presión (3, 5 y 7 días). A este proceso fueron sometidos 18 perniles, 6 para cada tiempo de salado, igual cantidad que en el proceso anterior, identificándose como CPV.

El tiempo de salado así como las condiciones de aplicación del pulso de vacío se definieron en base a estudios anteriores realizados

sobre cerdo blanco (Barat et al., 2004).

La determinación del tiempo final de salado en salmuera con o sin aplicación de vacío se efectuó en base al tiempo necesario para alcanzar la misma concentración salina que los perniles descongelados salados mediante la tecnología de salado tradicional (DSS), definida en la fase I.

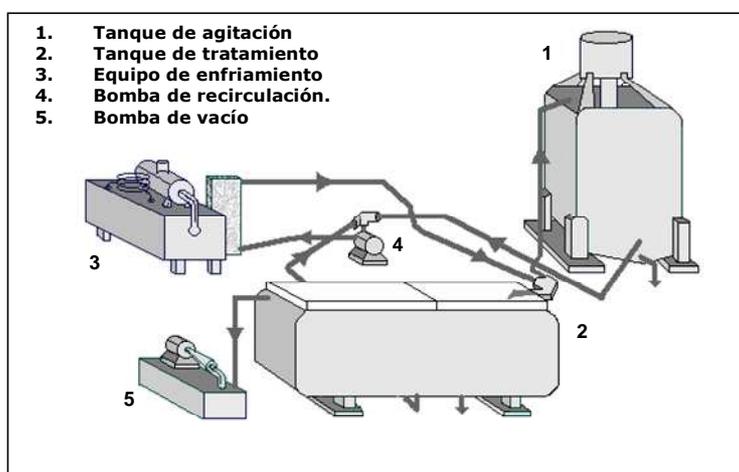


Figura 11. Instalación para el salado con salmuera.

c. Caracterización de la etapa de post-salado de jamones salados en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío.

Antes de someter los perniles a la etapa de post-salado, fueron previamente salados según cada tipo de proceso (SPV y CPV), de acuerdo a las condiciones óptimas de tiempo de salado establecidas en la etapa anterior. Una vez los perniles fueron salados, se introdujeron en cámaras de refrigeración a una temperatura de 3°C y humedad relativa de 85-90%, donde permanecieron el tiempo de post-salado necesario, antes de la realización de los análisis físico-

4. Materiales y métodos

químicos. Los tiempos de post-salado estudiados, para ambos tipos de salado fueron: 45, 53, 60, 65, 73, y 80 días.

El número de perniles sometidos a la etapa de post-salado fue de 36 en total, 18 para cada tipo de salado. Para cada tiempo de post-salado se analizaron 3 perniles de cada proceso de salado.

d. Estudio de la influencia del proceso de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada, sobre el producto final.

Para el desarrollo de esta fase, se realizó el salado en salmuera de 20 perniles congelados, con aplicación de pulso de vacío y 20 sin la aplicación de pulso de vacío de acuerdo con los tiempos de salado establecidos en la etapa I. El salado de los perniles se llevo a cabo en las instalaciones del Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia y una vez los perniles terminaron el proceso de salado, fueron llevados a las instalaciones de la empresa colaboradora en Cáceres, donde continuaron con el proceso de elaboración, de acuerdo a las condiciones establecidas por la empresa en su proceso normal de elaboración.

Los 40 jamones restantes fueron sometidos al proceso de descongelación en cámara y al posterior proceso de salado en sal sólida, por parte de la empresa colaboradora, siguiendo con el proceso de elaboración junto con los jamones salados en salmuera. Al igual que en la fase I, el final del proceso se estableció una vez los jamones alcanzaron una merma cercana al 30%, punto en el cual fueron enviados 10 jamones de los salados en salmuera sin pulso de vacío (SPV), 10 jamones de los salados en salmuera con pulso de vacío (CPV) y 20 jamones de los salados por el método tradicional

(DSS), para proceder a la toma de muestras y a los análisis físico-químicos de variación de peso, contenido en sal, contenido en agua, contenido en grasa, y actividad del agua, así como las determinaciones de textura y color.

4.4. Toma de muestras

En cada una de las fases y para cada uno de los diferentes puntos de muestreo de acuerdo al objetivo de cada fase (final de salado, final de post-salado y final de curado), se realizó la extracción (mediante un corte transversal del pernil) de una loncha, de aproximadamente 4 centímetros de espesor, desde la articulación coxofemoral hacia el extremo de la pata (Figura 12).



Figura 12. Zona de extracción de la loncha para muestreo.

De la loncha extraída de los perniles se seleccionaron 9 zonas de análisis (figura 13), siendo las zonas D, G y A las zonas más externas; B y B', las correspondientes a la zona más cercana al hueso y C, E y F las zonas más internas. Además las zonas A, A', B, B', y C se definieron como el perfil transversal del jamón.

No todas las zonas fueron analizadas en cada una de las tomas de muestra. Así en el estudio de las etapas de salado sólo se utilizaron

4. Materiales y métodos

las zonas A, A', B y C dado que en estas etapas la difusión en el interior del pernil no se consideró tan pronunciada. En las etapas de post-salado las zonas analizadas fueron A, A', B, B' y C, ya que se consideró que en esta etapa es importante definir cuáles son los mecanismos difusionales a través del perfil del jamón. Finalmente en el producto curado sí se utilizaron todas las zonas anteriormente mencionadas dado que se quiso caracterizar la totalidad del jamón.

Además en cada una de las tomas de muestra se analizó otra zona denominada **R**. Esta se obtuvo del picado del resto del magro del jamón, tras eliminar la grasa subcutánea, piel y hueso. El picado se realizó mediante el empleo de una picadora industrial de sobremesa empleando una placa de 6 milímetros (diámetro de los orificios de la placa). Dicho picado se realizó un total de 3 veces consiguiendo así una mayor homogeneización. Este homogeneizado se consideró como la totalidad del pernil en magro denominándose **R**.

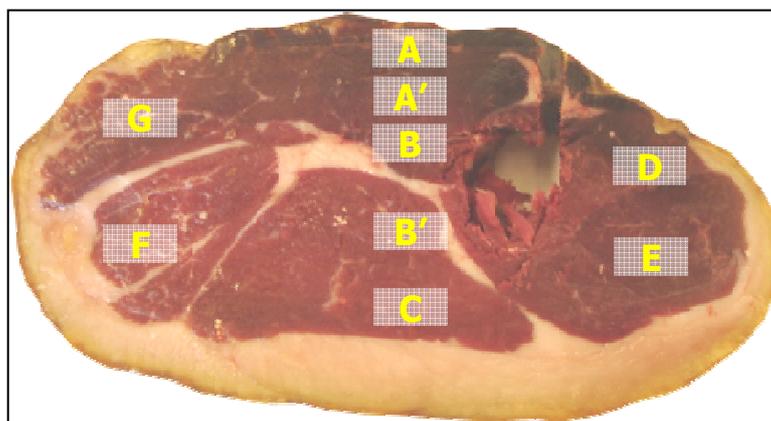


Figura 13. Distribución de los puntos de toma de muestra en la loncha.

Los análisis realizados a cada una de las zonas en estudio fueron divididos en dos grupos: Análisis fisicoquímicos (Humedad, Actividad

de agua, contenido de sal, contenido de grasa) y Análisis de parámetros de color y textura instrumentales, cabe destacar que estos últimos sólo fueron realizados a las muestras provenientes de los jamones ya curados (final de fase I y final de fase II.d.). Además antes y después de cada etapa (congelado, descongelado, salado, durante el post-salado y curado) los jamones fueron pesados con la finalidad de determinar la variación de masa.

4.5. Análisis fisicoquímicos

Dentro de los diferentes análisis fisicoquímicos realizados a los jamones, se encuentran: variaciones de masa, determinación de humedad, determinación del contenido de sal, determinación de la actividad de agua, determinación del contenido de grasa. A continuación se describe cada uno de ellos y la metodología empleada para su determinación.

4.5.1. Determinación de la variación de masa

La variación de masa de los perniles durante las diferentes etapas estudiadas (congelado, descongelado, salado, durante el post-salado y curado), se realizó mediante el empleo de los pesos registrados al principio y al final de cada una de estas mediante el empleo de la ecuación matemática (1):

$$(1) \quad \Delta M_t^0 = \frac{(M_f - M_1)}{M_1}$$

donde,

M_1 = peso del pernil antes de cada etapa de estudio (Kg)

M_f = peso del pernil al final de cada etapa de estudio (Kg)

4. Materiales y métodos

4.5.2. Determinación de la humedad

El protocolo seguido para la determinación de este parámetro, fue el establecido por la norma internacional ISO R-1442 de 1973.

Primero, se pesó en una balanza de precisión aproximadamente 5 gramos de muestra triturada sobre un pesa-sustancias que contenía arena de mar desecada y una varilla de vidrio, registrándose el peso del conjunto. Posteriormente, se añadieron 2 mililitros de alcohol etílico al 95% para facilitar la disgregación de la muestra y evitar su apelmazamiento. Con la varilla de vidrio, se procedió a moler la muestra junto a la arena de mar, con el fin de romper la estructura celular, y facilitar la salida del agua. Realizado esto, se introdujeron las muestras en el interior de una estufa a 105 °C, donde permanecieron un mínimo de 24 horas, tiempo suficiente como para evaporar toda el agua que pudiera contener la muestra. Pasado este periodo se sacaron de la estufa y se introdujeron en un desecador el tiempo necesario para su enfriamiento. Posteriormente se procedió a registrar su peso.

Para determinar la humedad que contenía cada muestra, se realizó la diferencia de peso entre la muestra húmeda del principio y la muestra ya seca y enfriada una vez extraída del desecador.

La expresión matemática (ecuación 2) utilizada para esta determinación fue:

$$(2) \quad x^{w.b.h.} \cdot (Kg. \text{ agua/kg. muestra}) = \frac{(P_0 - P_f)}{P_m}$$

donde,

P_0 = peso del conjunto pesa sustancia + arena + varilla +
muestra húmeda antes de secar

P_f = peso del conjunto pesa sustancias + arena + varilla +
muestra seca después de secar

P_m = peso de la muestra utilizada.

4.5.3. Determinación del contenido de sal

Para realizar la determinación del contenido de sal en las muestras, se procedió a la obtención de un extracto. Se pesaron aproximadamente 3 gramos de muestra que fueron triturados en un homogeneizador Ultra-turrax modelo T25 (Janke & Kunkel, Staufen, Germany) con la adición de agua destilada para favorecer su disgregación y liberar las sales solubles contenidas en la muestra. Tras esta operación, la muestra homogeneizada se introdujo en un matraz aforado de 200 ml, enrasándose con agua destilada hasta los volúmenes indicados. Se agitó el matraz para homogeneizar el contenido, filtrando posteriormente. La concentración de cloruros presentes en la muestra, se determinó mediante la valoración argentimétrica de 500 μ l del extracto obtenido, en el equipo analizador (Sherwood, Chloride analyser modelo 926).

4.5.4. Determinación de la actividad de agua (a_w)

La determinación de la actividad de agua se realizó mediante el equipo de FA-st lab de la marca GBX, basado en la determinación mediante el punto de rocío.

Previamente a la introducción de la muestra para esta determinación, se procedió a la calibración del aparato mediante sales de KCl, de alta actividad de agua, y trabajando en un intervalo de temperaturas entre 18 y 23°C. Para la preparación de la muestra,

4. Materiales y métodos

se utilizaron unas pequeñas cápsulas diseñadas específicamente para este equipo, en las cuales se introdujo la muestra triturada extendiéndola por toda la base de la cápsula (aproximadamente 1 milímetro de espesor). Una vez hecho esto, se introdujo la cápsula en el equipo, obteniéndose el valor de a_w mediante lectura directa en la pantalla.

4.5.5 Determinación de la grasa

La determinación del contenido de grasa se basó en la norma internacional ISO R-1443 de 1973. Para su realización, se utilizó el equipo Soxtec™ 2055 de la marca FOSS. Para la extracción se pesaron aproximadamente 5 gramos de muestra, previamente triturada, homogeneizada y deshidratada, la cual se introdujo en el interior de unos cartuchos de celulosa.

Una vez preparados los cartuchos con las muestras en su interior, se introdujeron en el dispositivo Soxtec, utilizando éter de petróleo (40-60°C seco) como agente extractor durante 2 horas. Los vasos metálicos para la extracción fueron previamente deshidratados, enfriados y pesados. Posteriormente, una vez recuperado el éter de petróleo residual, el vaso metálico donde se recogió la grasa fue colocando con la grasa extraída en una estufa a 105°C de temperatura durante 20 minutos. La determinación de la cantidad de grasa se hizo por diferencia de peso (3):

$$(3) \quad X^{GI} \text{ (kg. grasa/kg. muestra)} = \frac{(P_{bg} - P_{bs})}{P_m}$$

donde,

P_{bg} = peso del balón+grasa obtenida, secos

P_{bs} = peso del balón seco

P_m = peso de la muestra utilizada.

4.6. Análisis de color y textura

4.6.1. Determinación de parámetros de color.

Para la determinación de los diferentes parámetros de color en las muestras analizadas, se empleó un espectrofotómetro Minolta CM-2002R (Minolta Cámara Co., Osaka, Japón), utilizando un iluminante D65 y un observador estándar 10° (UNE 40-080, 1984). La determinación y expresión del color se efectuó en base a las coordenadas CIELAB y a los valores de reflectancia (CIE, 1976). Los parámetros Luminosidad (L), rojo-verde (a^*), amarillo-azul (b^*) fueron obtenidos directamente del equipo.

Dado que el color es alterado por la manipulación de las muestras, éste se midió sobre las muestras, previo a ser cortadas y extraídas, es decir directamente sobre la loncha.

4.6.2. Determinación de parámetros de textura.

La determinación de los diferentes parámetros de textura fue realizada mediante el empleo de un texturómetro marca STABIL MICROSYSTEMS, modelo TA-XT2, realizando un análisis de TPA (análisis de perfil de textura). Las muestras utilizadas fueron cortadas en cubos de 1 cm de lado a las que se les aplicó una deformación del 50%, con una velocidad de ensayo de 1 mm/s (Bourne, 1978). A partir de los datos obtenidos en las curvas (fuerza vs tiempo) se calcularon los diferentes parámetros de textura; dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad y masticabilidad (Szczesniak, A.S., 1966).

4.7. Análisis de imágenes.

Con la finalidad de evaluar la incidencia de ciertos parámetros del pernil (área superficial de grasa, de magro) (figura 12), así como el espesor del pernil, se efectuó un análisis de imagen de los pernils, utilizando para ello, el programa informático Adobe Photoshop 5.0.2.

4.8. Estudio estadístico

El estudio estadístico se realizó utilizando el paquete informático y estadístico Statgraphics™ Plus versión 5.1. Se efectuaron análisis de varianza a los datos, con un nivel de confianza del 95%. Cuando los factores resultaron significativos, se analizaron las diferencias entre los diferentes niveles mediante análisis de contrastes utilizando el test de Tukey (Gomez *et al.*, 1976; Afifi *et al.*, 1979; Gacula *et al.*, 1984). En todos los casos se utilizó el nivel de confianza del 95%. Por otra parte también se utilizaron Regresiones con la finalidad de obtener información sobre la posible correlación entre las variables estudiadas.

4.9. Nomenclatura

$x^{\text{NaCl}} \text{ b.h}$ = Fracción másica de sal expresada como Kg sal / Kg muestra.

$X^{\text{NaCl}} \text{ b.s.}$ = Razón másica de sal expresada como Kg sal / Kg materia seca, exenta de grasa y sal.

$x^{\text{W}} \text{ b.h}$ = Fracción másica de agua expresada como Kg agua / Kg muestra.

$X^{\text{W}} \text{ b.s.}$ = Razón másica de agua expresada como Kg de agua / Kg de materia seca, exenta de grasa y sal.

$x^{\text{G.I.}} \text{ b.h}$ = Fracción másica de grasa expresada como Kg grasa / Kg muestra.

$X^{\text{G.I.}} \text{ b.s.}$ = Razón másica de grasa expresada como Kg grasa /Kg de materia seca, exenta de grasa y sal.

Z^{NaCl} = Concentración de sal en la fase líquida expresada como Kg sal / Kg (sal + agua).

ΔM^0_t = Variación de masa total en el tiempo para los diferentes etapas del proceso de elaboración.

$\Delta M^0 \text{ ac.}$ = Variación de masa total acumulada desde el inicio del proceso de producción hasta finalizar cada una de las etapas, expresado como Kg de masa total perdida / Kg de materia prima.

a_w = Actividad de agua.

FSS = Perniles salados en sal sólida, procedentes de materia prima fresca

DSS = Perniles salados en sal sólida, procedentes de materia prima descongelada

SPV = Perniles salados en salmuera, sin la aplicación de pulso de vacío

CPV = Perniles salados en salmuera, con la aplicación de pulso de vacío

4. Materiales y métodos

5 SPV = Perniles salados en salmuera durante 5 días, sin la aplicación de pulso de vacío

3 CPV = Perniles salados en salmuera durante 3 días, con la aplicación de pulso de vacío

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Fase I. Caracterización de la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico, así como sobre su calidad final.

Dado que en jamón ibérico son pocos los estudios que caractericen físicoquímicamente la influencia que pueda generar el empleo de materia prima congelada y dado que el objetivo general de esta Tesis Doctoral es el uso de la técnica de salado descongelado en salmuera de perniles ibéricos congelados, se hizo necesario el realizar un estudio inicial sobre la influencia del uso de materia prima congelada sobre el proceso tradicional de elaboración del jamón ibérico y su calidad final. Así esta caracterización será básica en la posterior fase del estudio dado que los datos obtenidos actuaran como valores de referencia.

5.1.1 Estudio de la etapa de salado.

Durante la etapa de salado, los perniles se ven afectados por mecanismos de transferencia de materia, los cuales básicamente son la entrada de sal y la salida de agua. Estos procesos se generan básicamente por la sucesión de dos procesos consecutivos:

1. Generación de gradiente de potencial químico, causado por la diferencia de concentración de sal entre la pila de salado y el pernil, en el momento en que éstos entran en contacto. Esto provoca pérdidas de agua de los perniles, permitiendo la acumulación de salmuera en el exterior de éstos, y facilitando la entrada de la sal.

5. Resultados y discusión

2. Por otro lado, mediante fenómenos de difusión internos del jamón, generados por los gradientes de concentración entre las zonas más periféricas (con mayor concentración) y las más internas, la sal difunde hacia las zonas más internas al tiempo que el agua lo hace en sentido opuesto.

Es por ello que en el presente punto del estudio se han analizado las variables físico-químicas en la totalidad del jamón (R) y en las zonas A, A', B y C.

5.1.1.1. Caracterización físico-química del pernil

Una vez finalizada la etapa de salado de los perniles frescos (1,1 días/Kg. de jamón) y de los descongelados (0,78 días/Kg. de jamón) (apartado 4.3.1.1.), se escogieron 12 perniles arbitrariamente (6 procedentes de materia prima fresca y 6 procedentes de materia prima congelada), con la finalidad de determinar su contenido en agua, sal y grasa, así como los valores de a_w y la medida de las superficies características (apartado 4.5.2., 4.5.3., 4.5.5., 4.5.4. y 4.7. de materiales y métodos respectivamente), al final de la etapa de salado.

a. Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.).

La razón másica de sal de los perniles, se expresó como X^{NaCl} b.s $\left(\frac{\text{gr}_{\text{sal}}}{\text{gr}_{\text{magro (exento de agua, grasa, sal)}}} \right)$. Se utilizó esta forma de expresión con la finalidad de poder comparar la cantidad de sal ganada por cada uno de los jamones. Para ello, la concentración salina se formuló utilizando una base común, por lo que se suprimió de la expresión aquellos componentes que podrían variar en la composición de cada

jamón como son el agua, la grasa y la propia sal ganada, y que en los sucesivos apartados se irán analizando.

Los valores medios de X^{NaCl} b.s. alcanzados, por ambos tipos de perniles al final de la etapa de salado, quedan reflejados en la figura 14. Como puede apreciarse, los perniles frescos al final de la etapa de salado, alcanzaron una mayor razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) que la alcanzada por los perniles descongelados, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

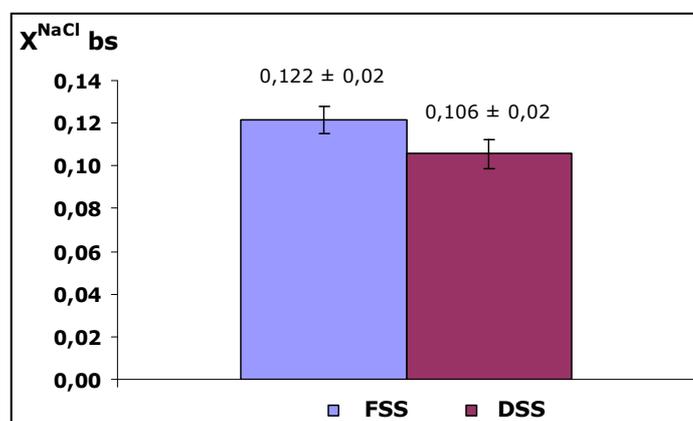


Figura 14. Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) de los perniles FSS y DSS al final de la etapa de salado.

La diferencia encontrada, estuvo generada por el mayor tiempo de salado empleado en los perniles frescos. Hay que resaltar, que los ratios de salado empleados para este punto del trabajo (1,1 días de salado/kg. de pernil, para los perniles frescos y 0,78 días de salado/kg. de pernil para los descongelados), se basaron en criterios de la empresa jamonera. Dado que esta empresa elabora tradicionalmente perniles a partir de materia prima congelada y que tiene la metodología de elaboración estandarizada, es de suponer que el tiempo de salado de estos perniles congelados fue el correcto, siendo excesivo el utilizado para los frescos.

5. Resultados y discusión

b. Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.).

La penetración de la sal en el pernil se ve favorecida por la formación de una salmuera alrededor de los perniles, generada a partir de la sal de la pila y el agua procedente del pernil, como consecuencia del gradiente de potencial químico generado. Es por ello que el pernil durante el salado pierde agua a medida que va ganando sal. (Ventanas, 2001).

El valor de X^W b.s. para ambos tipos de perniles al final de la etapa de salado, queda reflejado en la figura 15.

Como se observa, la concentración de agua, una vez finalizada la etapa de salado, fue prácticamente la misma para ambos tipos de perniles, no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre ellos ($p > 0,05$).

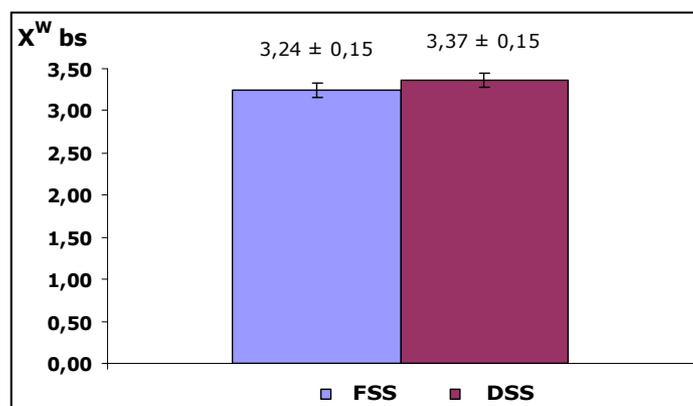


Figura 15. Razón másica de agua (X^W b.s.) de los perniles FSS y DSS al final de la etapa de salado.

c. Determinación de la variación de masa (ΔM^0).

Teniendo en cuenta la expresión matemática: $\Delta M^0_{\tau} = \Delta M^W + \Delta M^{NaCl}$, se sabe que la variación de masa total, es igual a la variación

de agua más la variación de sal sufrida durante el salado.

Como se puede observar en la figura 16, la variación de masa total fue muy similar en los dos tipos de perniles, no existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

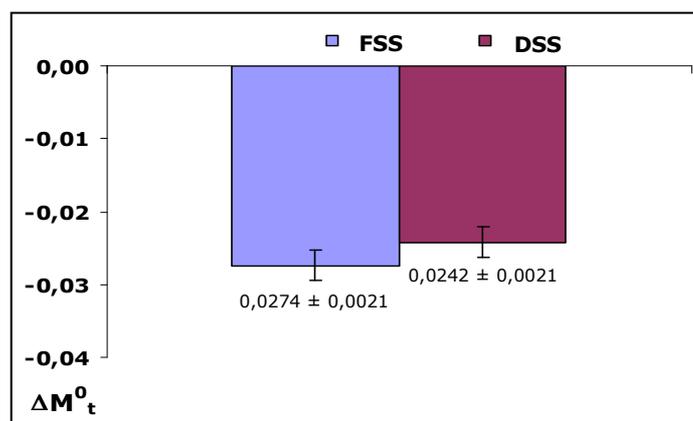


Figura 16. Variación de masa total ($\Delta M_t^0 = \Delta M^W + \Delta M^{NaCl}$) durante la etapa de salado de los perniles FSS y DSS.

La variación de masa total fue negativa debido a que, durante la etapa de salado, la cantidad de agua que perdieron ambos tipos de perniles, fue mayor que la ganancia de sal.

Por otro lado, cuando se tuvo en cuenta el proceso de descongelación de los perniles congelados, la variación de masa total acumulada (ΔM^0 ac) es decir, la diferencia de peso entre el inicio del proceso de producción y el final de la etapa de salado para ambos tipos de perniles (figura 17), fue mayor para los perniles descongelados, siendo las medias alcanzadas de ΔM^0 ac por ambos tipos de perniles diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).

La pérdida de peso durante el proceso de congelación-descongelación fue inferior a la observada por otros autores (Barat,

5. Resultados y discusión

et al 2004) en cerdo blanco, los cuales apreciaron pérdidas de entorno a un 2%. En cambio, el resultado promedio obtenido en este estudio fue de 1,1%, trabajando con pernils de cerdo Ibérico.

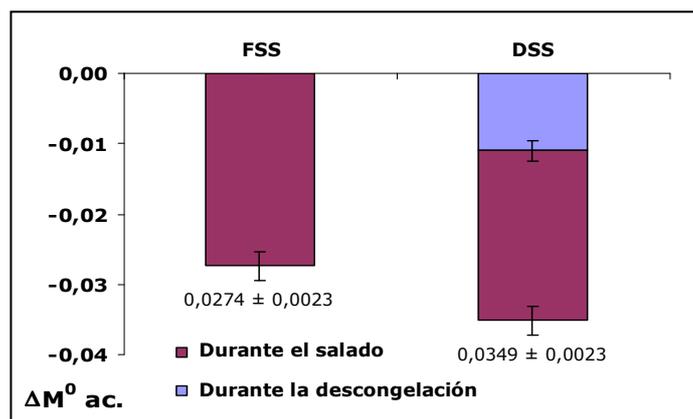


Figura 17. Variación de masa total acumulada ($\Delta M^{\circ} ac.$), desde el inicio del proceso de producción hasta el final del salado, en los pernils FSS y DSS.

La diferencia entre los valores de $\Delta M^{\circ} ac.$ podría deberse a la diferente composición de ambos pernils (ibérico y blanco). Los procedentes de cerdo blanco, tienen una mayor proporción magro/grasa que los ibéricos y por tanto, una mayor cantidad de agua, por lo que podrían verse más afectados por el proceso de congelación/descongelación, perdiendo de esta forma más agua.

d. Determinación de la grasa externa e interna.

Respecto a la cantidad de grasa de los pernils, se conoce que cuanto más elevado sea el contenido en grasa (ya sea interna o externa), menos cantidad de magro tendrán para un mismo peso. Debido a esto y dado que la mayor parte de la sal captada por los pernils se deposita en la zona magra del pernil, ya que la difusividad de la grasa es casi 20 veces menor que en el magro, por la elevada cantidad de agua de este (Gou y Comaposada, 2000), los pernils

con altos porcentajes de grasa frente a perniles con bajos porcentajes de grasa, necesitarán menos tiempo de salado.

Para expresar el contenido de grasa interna en estos perniles, se utilizó el parámetro X^{GI} b.s., con la finalidad de utilizar una base común en la comparación, al igual que se hizo en el estudio del contenido en sal y agua.

Como se observa en la figura 18, no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), para la concentración media de grasa interna que contenían ambos tipos de materia prima utilizada, por lo que se podría considerar que bajo este punto de vista la materia prima empleada fue homogénea.

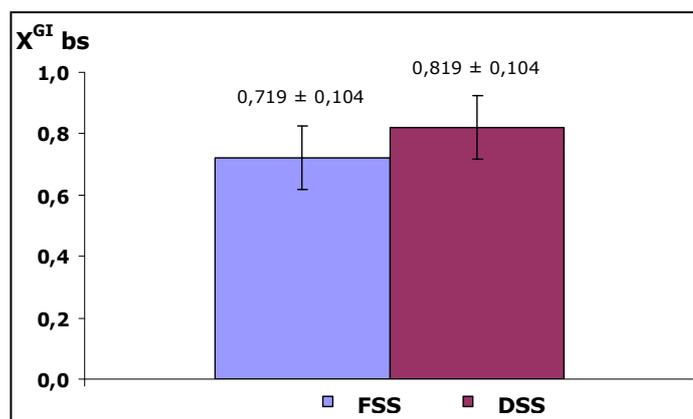


Figura 18. Razón másica de grasa interna (X^{GI} bs) de los perniles frescos y descongelados al final de la etapa de salado.

Dado que el espesor de la grasa subcutánea puede ser determinado mediante análisis no destructivos tales como el penetrómetro, análisis de imagen, etc, se procedió a realizar un estudio de correlación entre la grasa subcutánea medida por análisis de imagen de la sección transversal del jamón (figura 13) y la grasa interna de los perniles, la cual si necesita de análisis destructivos.

5. Resultados y discusión

Para la determinación de la grasa subcutánea de los perniles se midió el espesor de la capa de grasa externa en cada loncha extraída, tal y como se indica en el punto 4.7. (Análisis de imagen), del apartado materiales y métodos. Los resultados obtenidos mostraron diferentes espesores, independientemente del tipo de materia prima empleada, siendo el mínimo espesor obtenido de 1,4 cm. y el máximo de 3,5 cm. Espesores inferiores a los observados por otros autores (Ventanas, 2001) que caracterizaron jamones con espesores de entorno a 7-8 centímetros.

Como se muestra en la figura 19, existió una relación directamente proporcional entre la cantidad de grasa subcutánea y la grasa interna (coeficiente de correlación = 0,856). Este resultado, aun siendo preliminar, podría permitir deducir, previamente a la etapa de salado y sin necesidad de realizar ningún análisis destructivo sobre los perniles, la cantidad de grasa interna aproximada de los perniles y de esta forma también el tiempo más adecuado de salado para los perniles.

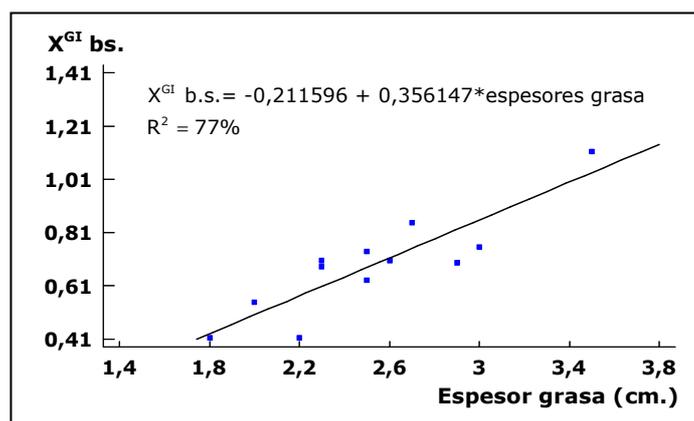


Figura 19. Relación existente entre los espesores de grasa subcutánea y los valores de razón másica de grasa ($X^{GI} \text{ b.s.}$).

e. Determinación de la actividad de agua (a_w).

El parámetro actividad de agua (a_w) se define como la relación entre la presión de vapor de agua que tiene un alimento respecto a la presión de vapor del agua pura. Los valores alcanzados por este parámetro, pueden oscilar entre 0 y 1, siendo su valor el indicativo de la fuerza con la que el agua está retenida en el alimento. Cuanto más pequeño es el valor de a_w , menor es la cantidad de agua libre disponible en ese alimento y con más fuerza estará retenida el agua que contiene éste (Belitz et al., 1998). Los valores de actividad de agua en el proceso de salado van ligados a la concentración salina. Como se ha comentado en los apartados anteriores, al final de la etapa de salado, los perniles frescos adquirieron una mayor cantidad de sal (con diferencias estadísticas) frente a los descongelados, los cuales a su vez presentaron valores de humedad mayores que los frescos. Este comportamiento fue el responsable mayoritario de los valores de actividad de agua hallados (figura 20), donde se observó como los perniles FSS presentaron valores de a_w estadísticamente inferiores a los DSS

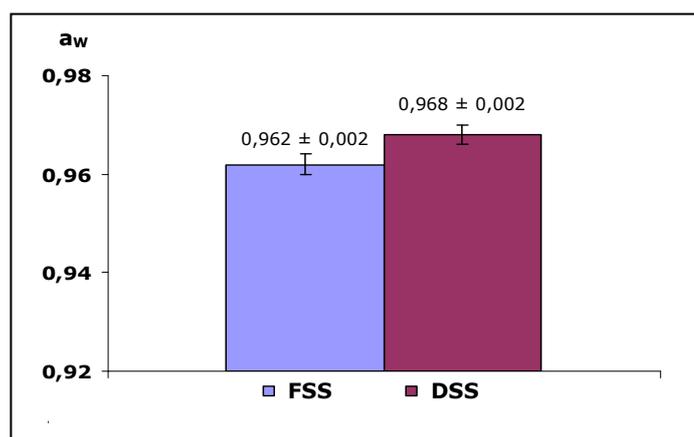


Figura 20. Actividad de agua (a_w) de los perniles frescos y descongelados al final de la etapa de salado.

5. Resultados y discusión

5.1.1.2. Caracterización físico-química de las zonas en estudio al final del salado.

Con el fin de evaluar los fenómenos difusivos en el interior de los perniles una vez finalizada la etapa de salado, se extrajeron 4 zonas de un corte transversal (A, A', B y C), tal y como se explica en el punto 4.4 (Toma de muestras), del apartado de Materiales y Métodos. En cada una de estas zonas se determinaron los valores de cantidad de sal, agua, grasa y la actividad de agua, analizando la posible influencia que pudieran ejercer las variables "materia prima (FSS o DSS)" y "zonas (A, A', B y C)", sobre el proceso difusional.

Para esta parte del estudio no se tomaron las zonas B', G, D, E y F con la finalidad de simplificar la toma de muestras y reducir el volumen de análisis a realizar.

a. Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s).

Mediante un estudio estadístico, se determinó la interacción entre las variables A (zonas) y B (materia prima), sobre la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) de las zonas en estudio (Tabla 3):

Tabla 3. Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro X^{NaCl} b.s y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	p-value
A (Mat.Prima)	0,0768
B (Zonas)	0,0000
A*B (Mat.Prima*Zonas)	0,1611

Como puede verse en la tabla 3, no existió interacción entre las dos variables materia prima y zonas ($p > 0.05$), es decir, que los

valores de X^{NaCl} b.s. alcanzados en cada una de las zonas para cada tipo de materia prima estudiada, no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre ellos ($p>0.05$) (figura 21).

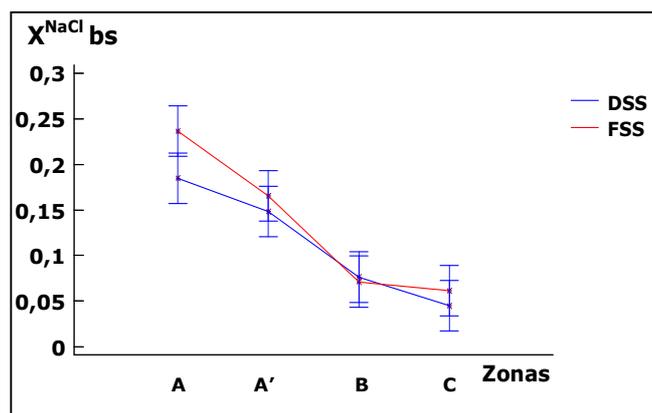


Figura 21. Interacción entre los perfiles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro X^{NaCl} b.s., al final de la etapa de salado.

Al estudiar la variable "materia prima" sobre el valor de X^{NaCl} b.s., se observó que los valores alcanzados por dicho parámetro en los perfiles FSS fueron algo mayores que los alcanzados por los perfiles DSS, aunque no llegó a existir diferencia estadísticamente significativa entre sus valores ($p>0.05$). Este resultado fue el esperado puesto que, como ya se observó para la totalidad del jamón (R), los perfiles frescos adquirieron una cantidad total de sal mayor con respecto a los descongelados (figura 14).

En cambio al analizar la variable "zonas" sobre el valor de X^{NaCl} b.s., al final de la etapa de salado para cada tipo de perfiles, los perfiles frescos sí tuvieron diferencias estadísticas entre los valores de X^{NaCl} b.s. alcanzados por las zonas. Los jamones FSS presentaron diferencias estadísticas entre las zonas A-A' ($p<0.05$) y entre estas dos y las zonas B y C sin presentarse diferencia estadística significativa entre estas dos últimas ($p>0.05$). En los perfiles

5. Resultados y discusión

descongelados (DSS), los valores de X^{NaCl} b.s alcanzados en cada zona, sólo fueron diferentes estadísticamente ($p < 0.05$) entre las dos zonas externas (A-A') con respecto a las otras dos zonas internas (B y C). Además, como puede observarse en la figura 21, ambos tipos de materia prima tuvieron en común que, las zonas A y A' (externas), adquirieron una mayor cantidad de sal ($p < 0.05$) que zonas más internas (B y C). Estas diferencias fueron debidas a que las zonas A y A' se encuentran más cercanas a la superficie en contacto con la sal (superficie con mayor coeficiente de transferencia de materia), y a que, durante la etapa de salado, el tiempo no fue el suficiente como para que la sal ganada en esta etapa difundiera hacia las zonas más internas (B y C).

b. Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.)

El estudio estadístico de la posible interacción existente entre las variables A (zonas) y B (materia prima), sobre la evolución del parámetro X^W b.s., se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro X^W b.s., y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	p-value
A (Mat.Prima)	0,2084
B (Zonas)	0,0000
A*B (Mat.Prima*Zonas)	0,8065

Como puede observarse en la tabla 4, no existió interacción entre las variables materia prima y zonas ($p > 0.05$), presentando este parámetro X^W b.s., la misma tendencia en ambos tipos de jamones (figura 8).

Adicionalmente se puede observar en la tabla 4, que la variable "materia prima" no presentó influencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) en los valores de razón másica de agua para cada una de las zonas analizadas. En cambio la variable zona sí mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las zonas A, A' y B. La cantidad de agua de la zona C fue estadísticamente igual ($p > 0.05$) a las zonas A' y B (figura 22).

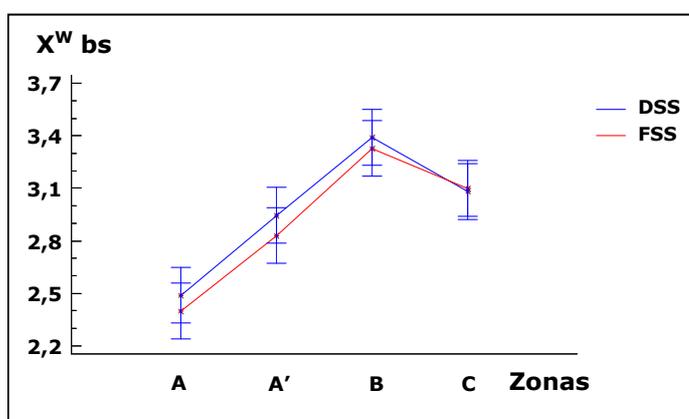


Figura 22. Interacción entre los perfiles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro X^W b.s., al final de la etapa de salado.

Analizando simultáneamente la figura 21 y 22 (razón másica de sal X^{NaCl} b.s, y razón másica de agua X^W b.s., respectivamente), se puede apreciar cómo las zonas con mayor cantidad de sal fueron las que presentaron una menor cantidad de agua. Esto se debe a que durante ésta etapa las zonas externas A y A', al estar más próximas a la sal en la pila de salado, fueron las que mayor cantidad de sal ganaron así como las que mayor cantidad de agua perdieron.

c. Determinación de la actividad de agua (a_w).

La actividad de agua es un parámetro que está relacionado con la concentración de solutos ($Z^{solutos}$) en la fase líquida de un alimento

5. Resultados y discusión

(Ordóñez *et al.*, 1998; Grau *et al.*, 2007). En este estudio, esta concentración de solutos de la fase líquida, está formada en gran parte por la sal que contiene el pernil al final del proceso de salado, es decir, de la concentración de sal alcanzada. Así pues la mayor o menor a_w del pernil, estará relacionada con la menor o mayor Z^{NaCl} .

El estudio estadístico de la interacción entre las variables A (zonas) y B (materia prima), sobre la evolución del parámetro a_w (tabla 8), mostró la existencia de dicha interacción ($p < 0.05$), siendo el comportamiento del parámetro a_w diferente en función del tipo de materia prima utilizada y de la zona que se trate (figura 23).

Tabla 5. Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro a_w y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	p-value
A (Mat.Prima)	0,0204
B (Zonas)	0,0000
A*B (Mat.Prima*Zonas)	0,0132

El estudio de la variable materia prima mostró como los valores de a_w obtenidos en las zonas A y A' de los pernils FSS (figura 23), fueron menores que los valores de a_w de las zonas de los pernils DSS (aunque sólo A llegó a presentar diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$)). Este resultado fue el esperado, ya que los pernils FSS fueron los que más sal ganaron al permanecer durante más tiempo en la pila de salado (figura 14).

Cuando se evaluó la variable zona, se observó que existieron diferencias significativas entre las zonas A y A' para los jamones frescos (FSS), no así para los descongelados (figura 23). Este resultado fue coherente con el obtenido para la razón másica de sal (figura 21).

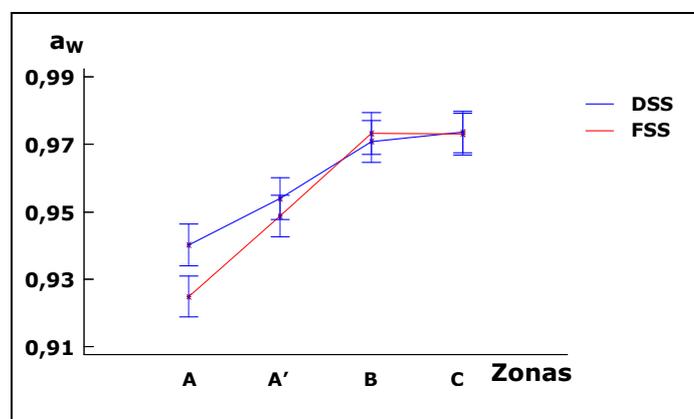


Figura 23. Interacción entre los perfiles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro a_w , al final de la etapa de salado.

Además para ambos tipos de materia prima existieron diferencias significativas en la zona A', con respecto a las zonas B y C las cuales no presentaron diferencias entre ellas, siendo el valor promedio de estas zonas prácticamente el de la materia prima ($0,987 \pm 0,006$).

d. Determinación de la razón másica de grasa ($X^{G.I}$ b.s).

El estudio estadístico de la posible interacción existente entre las variables zonas (A) y materia prima (B), sobre la concentración de grasa interna ($X^{G.I}$ b.s), se muestra en la tabla 6.

Como puede observarse, no existió interacción entre las variables materia prima y zonas ($p > 0.05$), presentando este parámetro $X^{G.I}$ b.s., la misma tendencia en ambos tipos de jamones (figura 24).

Tabla 6. Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro $X^{G.I}$ b.s., y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	p-value
A (Mat.Prima)	0,8361
B (Zonas)	0,0000
A*B (Mat.Prima*Zonas)	0,9216

5. Resultados y discusión

La variable "materia prima" tampoco presentó influencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$), siendo este parámetro X^{GI} , una característica totalmente independiente del tipo de materia prima utilizada (FSS o DSS).

En cambio sí que se pudo evidenciar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la variable "zonas". Al observar la figura 24, se puede apreciar como la zona C (más cercana a la grasa subcutánea), fue la que mayor cantidad de grasa presentó, siendo la zona A' la que menor cantidad tuvo.

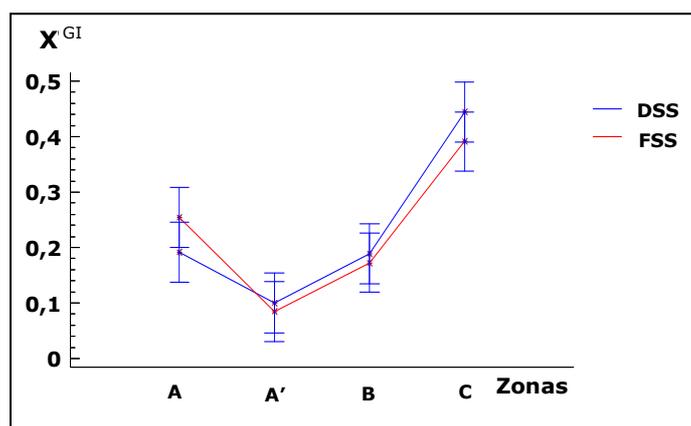


Figura 24. Interacción entre los perfiles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro X^{GI} , al final de la etapa de salado.

5.1.2. Estudio de la etapa de post-salado.

Durante esta etapa los jamones siguen estando afectados por mecanismos de transferencia de materia, tanto por parte de la sal como del agua, debido a la generación de un gradiente de potencial químico causado por la diferencia entre la mayor concentración salina de la zona más externa de la pieza (concentración que adquirió durante el salado) y las zonas internas del jamón. Cabe anotar que en esta etapa se pretende favorecer la difusión de la sal y del agua con la finalidad de que las zonas más internas alcancen la misma concentración salina, que permita la realización de las sucesivas etapas de elaboración, reduciendo la actividad microbiana y facilitando los posteriores procesos de secado y madurado.

Es la diferencia de potencial químico la responsable de los mecanismos difusionales, donde la sal migra de las capas externas del jamón hacia las internas, mientras que simultáneamente el agua difunde de las capas internas hacia las externas.

Durante el periodo de post-salado, simplemente se produce variación de masa de agua, ya sea por goteo (exudación) de los jamones o por evaporación del agua de la pieza hacia el ambiente, ya que la cantidad de sal no varía, siendo ésta la que adquirieron los jamones durante el periodo de salado.

5.1.2.1 Caracterización físico-química del pernil

a. Determinación de la variación de masa total (ΔM_t^0).

La variación de masa total durante el post-salado ($\Delta M_{\text{post-salado}}^0$), se expresó con el parámetro $\Delta M_{\text{post-salado}}^0$, indicando los kilogramos de

5. Resultados y discusión

masa que varía entre el final de la etapa de post-salado y el final de la etapa de salado, respecto a los kilos de cada pernil al final de la etapa de salado.

Como se observa en la figura 25, el valor medio alcanzado de $\Delta M^0_{\text{post-salado}}$ en los pernils FSS fue de -0.082 ± 0.0052 , y de -0.085 ± 0.008 para los pernils DSS, no existiendo diferencia estadística entre ambos valores ($p > 0.05$). Por otra parte, como se mencionó con anterioridad, durante el desarrollo de esta etapa no se presenta variación del contenido de sal en los pernils, existiendo pérdidas de agua exclusivamente, por lo que al hacer un balance de materia se obtiene que:

$$\Delta M^0_{\text{post-salado}} = \Delta M^W + \Delta M^{\text{NaCl}}, \text{ siendo } \Delta M^{\text{NaCl}} = 0 \rightarrow \Delta M^0_{\text{post-salado}} = \Delta M^W$$

Mediante esta igualdad, y sabiendo que durante esta etapa solamente se produce pérdida de agua a través del goteo de los jamones o evaporación del agua superficial de éstos hacia el aire que les rodea, se entiende que la variación de masa total durante el post-salado resulte negativa, tal y como se observa en la figura 25.

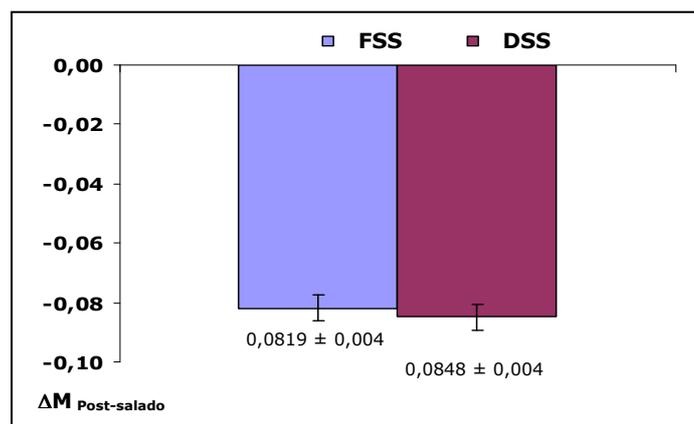


Figura 25. Variación de masa total ($\Delta M^0 = \Delta M^W + \Delta M^{\text{NaCl}}$) durante la etapa de post-salado de los jamones FSS y DSS.

b. Determinación de la variación de masa total acumulada respecto al tiempo de proceso.

Para comparar el comportamiento y la evolución de la variación de masa total entre ambos tipos de jamones desde el inicio de su proceso de elaboración (incluida la etapa de descongelación en los DSS), hasta el final de la etapa de post-salado, se analizó la variación de masa total acumulada (figura 26).

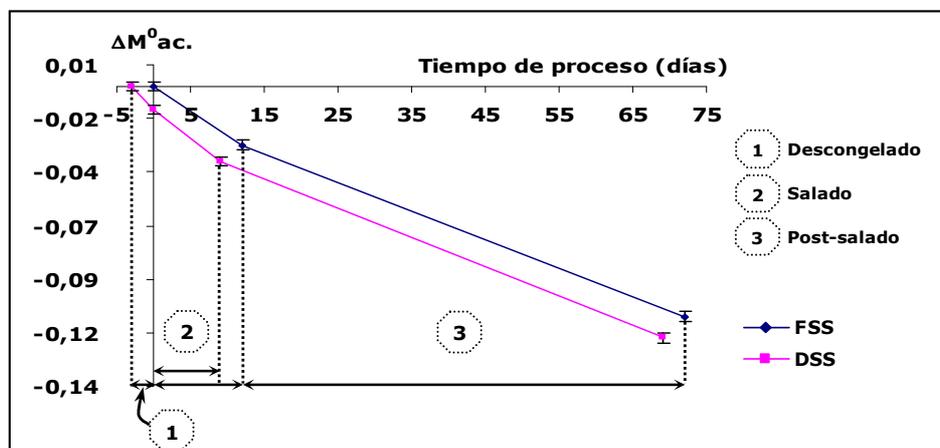


Figura 26. Variaciones de masa para los jamones provenientes de materia prima fresca y descongelada, durante el post-salado.

Como se puede observar, la diferencia estadística ($p < 0,05$) en la variación de masa total acumulada, entre los dos tipos de jamones, al final de la etapa de salado, se mantuvo hasta el final de la etapa de post-salado. Este resultado está en concordancia con lo presentado en la figura 25, donde se observó como la variación de masa durante la etapa de post-salado es similar para los dos tipos de materia prima DSS y FSS.

c. Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.).

Tal y como se ha mencionado con anterioridad, la variación de sal

5. Resultados y discusión

durante el post-salado es nula, existiendo cierta variación en la razón másica de agua de los jamones debido a que durante esta etapa sufrieron una desecación superficial controlada al entrar en contacto con el aire del interior de las cámaras en las que permanecieron. Así el contenido de humedad para cada tipo de jamón al final de la etapa de post-salado se muestra en la figura 27.

Como puede apreciarse la humedad o cantidad de agua de los jamones DSS fue menor que la de los jamones FSS, siendo la diferencia entre los valores estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Este resultado fue el esperado, después de haber observado como los jamones DSS tuvieron una mayor merma al final del post-salado (figura 26).

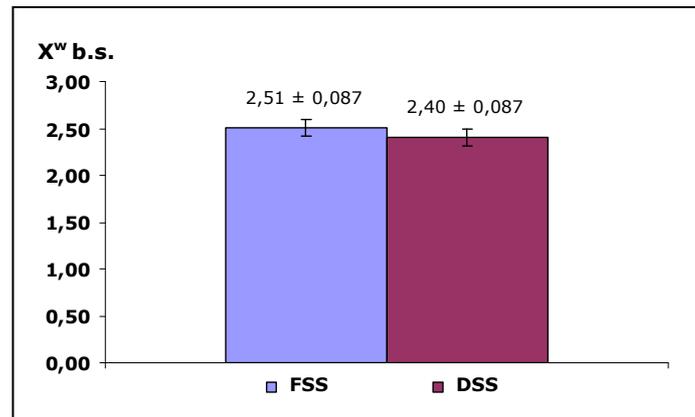


Figura 27. Razón másica de agua (X^w b.s.) al final de la etapa de post-salado para los jamones FSS y DSS.

d. Relación entre la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_w).

Al final del post-salado se determinó el parámetro Z^{NaCl} frente al de a_w . Esta comparación se hizo ya que estos dos parámetros están relacionados entre sí. La concentración de sal en la fase líquida de los

jamones (Z^{NaCl}), expresa la concentración de solutos de la fase líquida del pernil (en este caso mayoritariamente de sales) y el valor de la a_w es un indicativo de la mayor o menor fuerza con la que el agua se encuentra retenida por los solutos (en este caso la sal adquirida durante el salado) y la matriz proteica.

Los valores de ambos parámetros alcanzados al final de la etapa de post-salado en los dos tipos diferentes de jamones se muestran en la figura 28. Como puede observarse no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) ni en la concentración de sal ni en la de actividad de agua, para ambos tipos de jamones. Es decir, que una vez terminada la etapa de post-salado, la concentración salina alcanzada por los dos tipos de jamones llegó a ser semejante. Es por ello que si bien los jamones frescos adquirieron una mayor cantidad de sal durante la etapa de salado, con respecto a los descongelados, también tuvieron una mayor menor deshidratación al final del post-salado (figura 27), obteniéndose una concentración salina sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

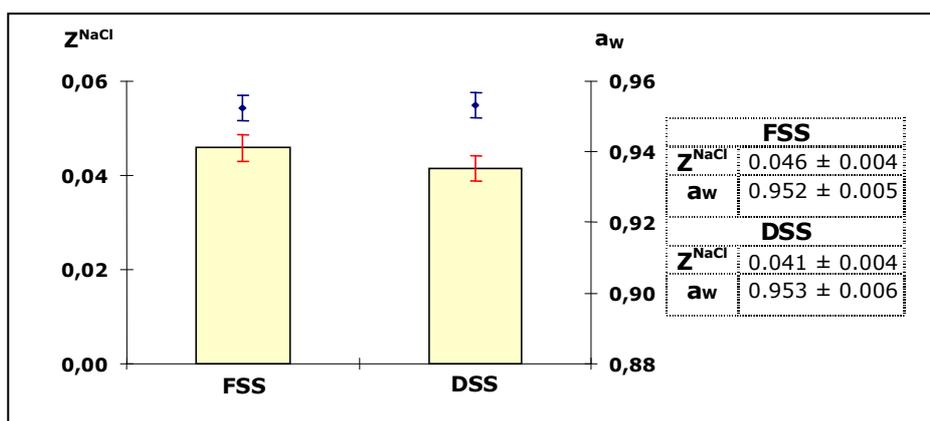


Figura 28. Relación entre la concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_w) al final de la etapa de post-salado, para jamones FSS y DSS.

5. Resultados y discusión

5.1.2.2 Caracterización físico-química de las diferentes zonas del pernil al final del post-salado.

Para evaluar la difusión salina interna producida en el pernil al final de la etapa de post-salado y obtener el valor de los diferentes parámetros estudiados relacionados con dicha difusión, se procedió de la misma manera que en la etapa de salado, pero en este caso extrayéndose 5 zonas de un corte transversal del pernil, tal y como se explica en el punto 4.4 (Toma de muestras), del apartado de Materiales y Métodos. Sobre las zonas A, A', B, B' y C (desde la zona más externa hasta la más interna del pernil, respectivamente) (figura 13) se determinó el valor de la razón másica de sal, agua, y de la actividad de agua.

a. Determinación de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}).

El análisis de la concentración de sal (Z^{NaCl}) en la fase líquida, de las zonas en estudio al final de la etapa de post-salado, se realizó mediante el estudio estadístico de la interacción entre los dos tipos de materia prima utilizada y sus diferentes zonas en estudio

Como se puede observar en la tabla 7, sólo la variable zona fue estadísticamente significativa ($p < 0.05$) sobre el parámetro Z^{NaCl} , no siendo influyente la variable materia prima, así como la interacción existente entre ambas variables. Este resultado mostró como ambos tipos de jamones tuvieron una misma tendencia con respecto a los valores obtenidos para la concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}), en cada una de las zonas analizadas (figura 29).

Tabla 7 Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro Z^{NaCl} y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	p-value
A (Mat.Prima)	0,0514
B (Zonas)	0,0000
A*B (Mat.Prima*Zonas)	0,6987

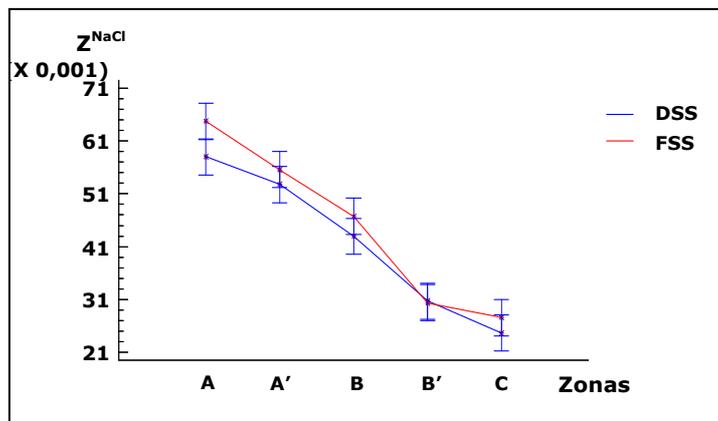


Figura 29. Interacción entre los perfiles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro Z^{NaCl} , al final de la etapa de post-salado.

Al analizar las dos variables, "materia prima" y "zonas" por separado (figura 29), se puede observar como los valores medios de concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) obtenidos por los jamones FSS fueron ligeramente superiores con respecto a los obtenidos por los DSS, aunque como se ha mencionado no llegaron a presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos ($p > 0.05$). Si bien los jamones FSS ganaron más cantidad de sal que los DSS durante el salado (figura 14), éstos a su vez presentaron una mayor humedad al final de la etapa de post-salado, por lo que la concentración salina de ambos tipos de materia prima utilizada al final de esta etapa llegó a ser muy similar.

Dado que uno de los objetivos del post-salado es que la sal difunda desde las zonas más externas, en la cual se encuentra en

5. Resultados y discusión

mayor concentración tras la etapa de salado, hacia el resto de zonas del jamón, y que la concentración de sal en la fase líquida tienda a igualarse en todas las zonas (Arnau *et al.*, 1995; Barat *et al.*, 2004), para que los cambios físico-químicos y bioquímicos que dependen de la concentración salina se den por igual en toda la masa del jamón, se procedió a realizar el estudio de la concentración de sal en fase líquida durante toda la etapa de post-salado (figura 30).

Como puede observarse, en términos generales, hubo una tendencia hacia la búsqueda de un equilibrio salino (Z^{NaCl}) entre las zonas en estudio. Así la sal de la zona externa "A" tendió a penetrar hacia las zonas más internas y el agua de estas a difundir hacia "A", de ahí que la concentración de "A" disminuyera, aumentando en las zonas internas B y C con el transcurso del tiempo del post-salado. La zona "A" aunque no presentó variación en los valores de Z^{NaCl} sí que sufrió los fenómenos difusivos a través suyo dado que es un punto intermedio para la entrada de sal, hacia el interior de los perniles, y la salida del agua, hacia el exterior de éstos.

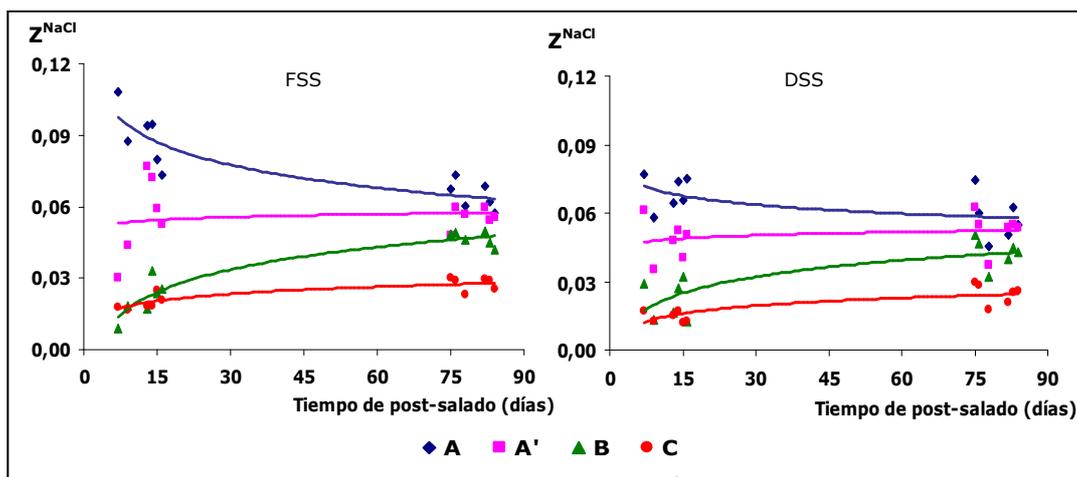


Figura 30. Evolución de la concentración de sal en las zonas analizadas, desde el final del salado hasta el final del post-salado para jamones FSS y DSS.

La mayor concentración inicial (Z^{NaCl}) de la zona A, en los jamones FSS con respecto a los DSS, como se ha mencionado, fue debida a que el tiempo de salado de estos fue mayor, aunque debido a la mayor deshidratación de los jamones DSS, al final de la etapa de post-salado, la concentración entre las zonas A, A', B y C de ambos tipos de jamones no fue significativa (figura 29). En cambio entre las propias zonas de un mismo tipo de jamón sí existieron diferencias significativas. Este último resultado pone de manifiesto como al final de la etapa de post-salado no se alcanza un equilibrio salino en el interior del jamón, por lo que la etapa de post-salado se debería definir como aquella en la que la sal difunde hacia las zonas mas internas del pernil y cuya duración será la que permita que estas zonas internas alcancen una concentración salina con la que se asegure la siguiente etapa del proceso (secado-madurado).

b. Determinación de la actividad de agua (a_w).

Durante el periodo de post-salado el valor de actividad de agua de las diferentes zonas del jamón tiende a igualarse, fruto de la migración de sal desde su zona periférica hacia el interior del jamón, y al flujo de agua en sentido inverso. A tal fin se realizó el análisis de las interacciones entre las variables A (materia prima) y B (zonas), para determinar su posible influencia en los valores alcanzados por el parámetro actividad de agua (tabla 8).

Tabla 8. Influencia del tipo de materia prima (A) y las distintas zonas (B) sobre el parámetro a_w y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	p-value
A (Mat.Prima)	0,3591
B (Zonas)	0,0000
A*B (Mat.Prima*Zonas)	0,3420

5. Resultados y discusión

Como se puede observar en la tabla 8, el estado de la materia prima usada (fresca o descongelada), no fue un factor influyente en los valores obtenidos por el parámetro la actividad de agua durante la etapa de post-salado ($p > 0.05$). En cambio la variable "zonas" sí que resultó influyente en los valores alcanzados de a_w en cada una de las zonas estudiadas. Así mismo, la interacción entre los factores "materia prima*zonas (AB)", no resultó estadísticamente significativa ($p > 0.05$), lo cual indicó, que ambos tipos de jamones, siguieron una misma tendencia con respecto a los valores obtenidos de a_w en las zonas de los jamones, tal y como se observa en la siguiente figura 31.

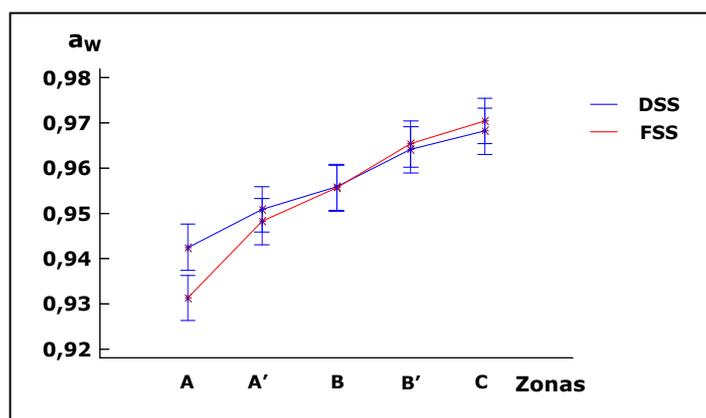


Figura 31. Interacción entre los perfiles de ambas materias primas y sus diferentes zonas, para el parámetro a_w , al final de la etapa de post-salado.

Debido a que uno de los parámetros más importantes en la estabilización de los perfiles es la actividad de agua, se procedió a realizar un estudio de los valores de este parámetro, teniendo en cuenta los valores al inicio y al final de la etapa de post-salado (figura 32).

Como se pudo observar, las variaciones en el parámetro actividad de agua básicamente se centraron en la zona más externa A, e

intermedia B, aunque eso no significó que la zona A', como anteriormente se ha comentado, no presentase fenómenos difusivos a través suyo. Esta zona A' al ser un punto intermedio para la entrada de sal hacia el interior de los perniles y la salida de agua hacia el exterior de estos, no presentó variación en las concentraciones salinas y por tanto de a_w . En cambio la zona C como consecuencia de la distancia con las zonas con mayores concentraciones salinas no adquirió la suficiente sal ni perdió la suficiente agua como para ver modificados sus valores de a_w .

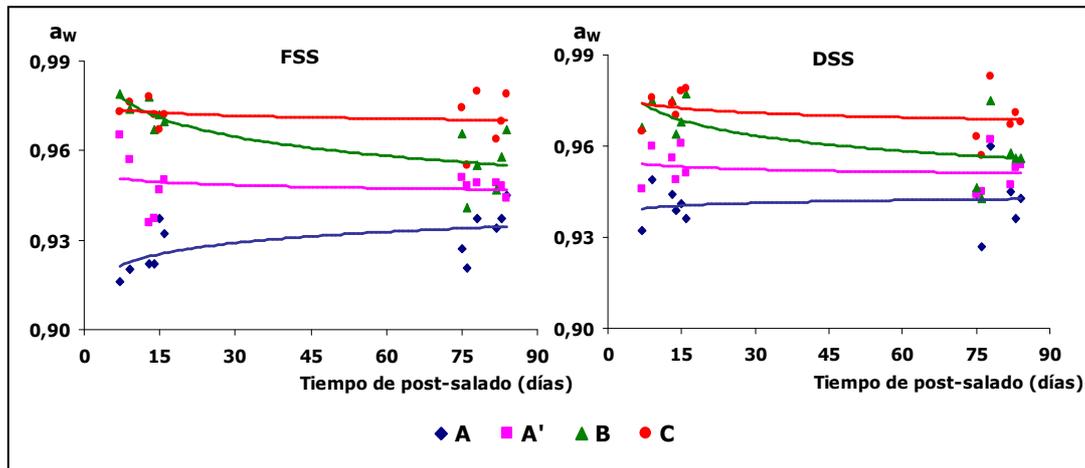


Figura 32. Evolución de la concentración de sal en las zonas analizadas, desde el final del salado hasta el final del post-salado para jamones FSS y DSS.

En términos generales se pudo observar como las zonas que presentaron una disminución en los valores de Z^{NaCl} , presentaron un aumento en los valores de actividad de agua y viceversa, confirmando la estrecha relación existente entre estos dos parámetros.

5.1.3. Estudio de la etapa de curado y caracterización del producto final.

Durante la etapa de secado y madurado los jamones se ven afectados por mecanismos de transferencia de materia similares a los que se presentan durante la etapa de post-salado, aunque en esta etapa las condiciones de proceso son diferentes, ya que los valores de temperatura y humedad relativa van ascendiendo y descendiendo respectivamente, a medida que avanza el proceso, llevándose a cabo además los procesos madurativos derivados de las reacciones proteolíticas y lipolíticas.

Para el desarrollo del presente estudio, la etapa de secado-madurado se llevo a cabo de acuerdo a las condiciones establecidas por la empresa colaboradora. Para ello los jamones fueron mantenidos en las instalaciones de la empresa determinándose el final del proceso en base a la merma acumulada de los jamones ($\approx 30\%$).

5.1.3.1 Caracterización físico-química del jamón

En la figura 33 se puede observar la variación de masa acumulada de los perniles provenientes de materia prima fresca y descongelada, a lo largo del proceso de elaboración. Como se puede apreciar, la merma final esperada para ambos tipos de jamones ($\approx 30\%$), se alcanzó a los 680 días de proceso (≈ 22 meses)

Durante todo el proceso de elaboración, como se puede apreciar, no existieron diferencias significativas entre los jamones procedentes de materia prima fresca y materia prima descongelada, pudiéndose

establecer que desde el punto de vista de este parámetro, el efecto del estado de la materia prima (fresca, descongelada), no presenta una marcada influencia.

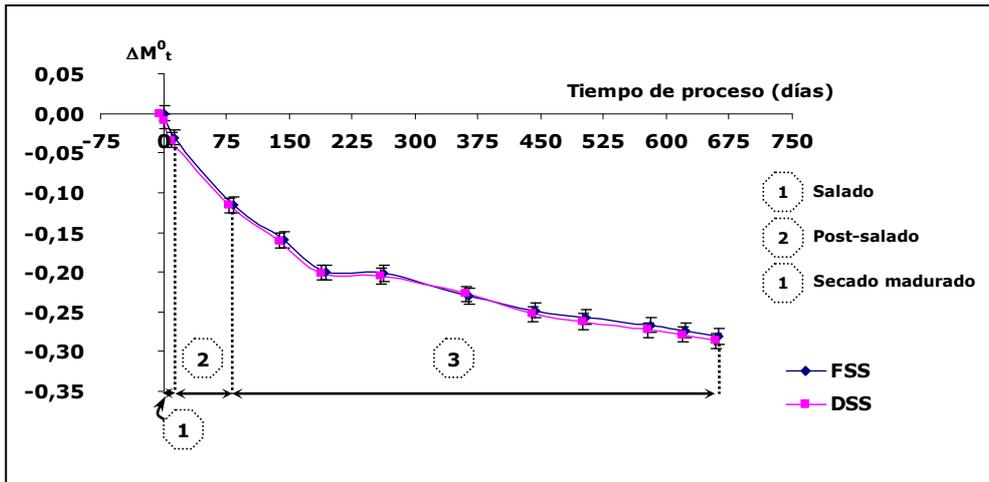


Figura 33. Variaciones de masa para los jamones provenientes de materia prima fresca y descongelada, durante todo el proceso de elaboración.

En la tabla 9 se muestran las medias, desviaciones estándar y análisis de la varianza para la variación de masa total (ΔM^0), la razón másica de agua (X^W b.s.), la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), la razón másica de grasa (X^{GI} b.s.), actividad de agua (a_w) y concentración salina en fase líquida (z^{NaCl}), al final del proceso, para la totalidad de los jamones (R) procedentes de materia prima fresca y descongelada.

Los valores de pérdida de masa total al final del proceso, así como los de razón másica de agua (X^W b.s.), grasa (X^{GI} b.s.) de actividad de agua (a_w), entre frescos y descongelados, no presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$). En cambio si la presentó la razón másica de sal, siendo mayor para los jamones curados procedentes de materia prima fresca (X^{NaCl} b.s. = $0,107 \pm 0,01$) que para los

5. Resultados y discusión

provenientes de materia prima descongelada (X^{NaCl} b.s. = $0,076 \pm 0,01$).

Los valores de actividad de agua para ambos tipos de jamones, fueron inferiores a 0,91, valor límite que reduce el riesgo asociado al crecimiento de la mayoría de microorganismos patógenos (USDA_FSiS, 2005).

Tabla 9. Valores medios de la variación de masa total (ΔM), razón másica de agua (X^w b.s.), razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) y actividad de agua (a_w) al final del proceso para la totalidad del jamón (R).

Parámetro	Materia prima		p value
	Fresco (FSS)	Descongelado (DSS)	
ΔM^t	$-0,293 \pm 0,011$	$-0,297 \pm 0,011$	0,651
$X^{\text{NaCl}} \text{ bh}$	$0,038 \pm 0,004$	$0,028 \pm 0,004$	0,033
$X^{\text{NaCl}} \text{ b.s.}$	$0,107 \pm 0,010$	$0,076 \pm 0,010$	0,012
X^w	$1,141 \pm 0,111$	$1,104 \pm 0,111$	0,671
X^g	$0,387 \pm 0,055$	$0,391 \pm 0,055$	0,924
a_w	$0,887 \pm 0,010$	$0,882 \pm 0,010$	0,457
Z^{NaCl}	$0,086^a \pm 0,010$	$0,065 \pm 0,010$	0,049

5.1.3.2. Caracterización físico-química de las diferentes zonas del jamón al final del proceso.

Dada la similitud entre los jamones observados al final del proceso (tabla 9), se procedió a caracterizar una sección transversal, con la finalidad de evaluar no solo las posibles diferencias que pudieran ser observadas entre las diferentes zonas del jamón (figura 13, materiales y métodos), sino también entre los dos tipos de jamones utilizados.

En la figura 34 se muestra cual fue la concentración de sal, agua y

el valor de la actividad de agua para las zonas de ambos tipos de jamones elaborados. Como puede observarse la razón másica de agua (X^w b.s.) de las zonas en estudio fue mayor en las zonas más externas (D, G y A) que en las internas (C, F y E), como resultado de una mayor deshidratación en éstas. Así, en el perfil descrito por las zonas A, B y C, queda evidente el gradiente de humedad existente entre la zona externa y la interna del jamón. Este mismo comportamiento se vio reflejado en los valores de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), los cuales tuvieron un comportamiento similar, siendo menores las concentraciones alcanzadas en las zonas de estudio más externas.

La correlación directa observada entre la razón másica de agua X^w b.s. y la razón másica de sal X^{NaCl} b.s. quedó evidente cuando se relacionaron ambas (figura 35), apreciándose una correlación directa (coef. de correlación = 0,86). Este resultado dejó evidente como la gran mayoría de la sal se encuentra disuelta en la fase líquida del jamón. Es por ello que cuando la concentración salina se expresó en valores de sal en la fase líquida (z^{NaCl}) (figura 34), sí se apreció un comportamiento constante en el contenido salino, no existiendo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las zonas de un mismo jamón. Así una forma eficaz de expresar la concentración de sal de un jamón es la utilización de la expresión "concentración salina en la fase líquida" (Barat et al., 2005).

Cuando se comparó los valores de sal en la fase líquida (z^{NaCl}) de las zonas en estudio entre ambos tipos de jamones (figura 34), se vio como los jamones procedentes de materia prima fresca presentaron una mayor concentración en todas ellas mostrando claramente la tendencia de mayor concentración salina de los jamones FSS que se

5. Resultados y discusión

ha venido observando durante todo el estudio.

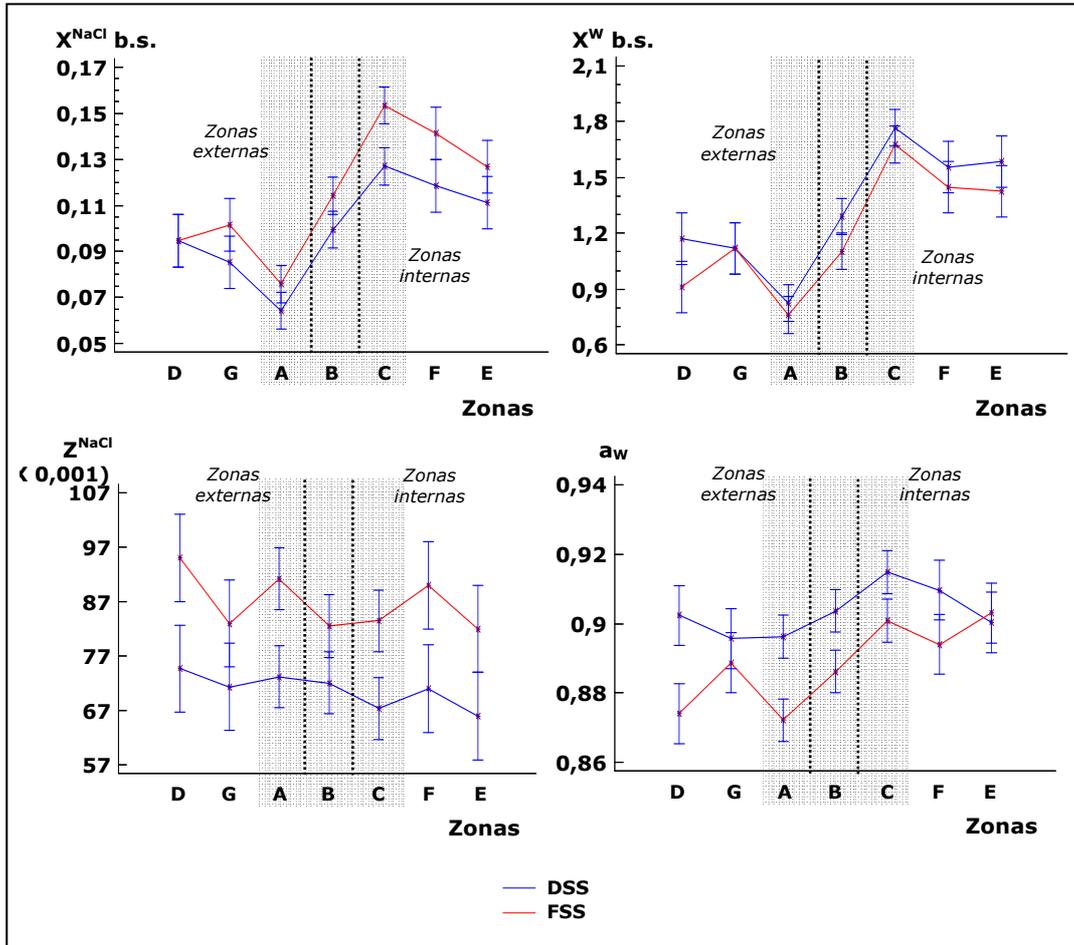


Figura 34. Valores de razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.); razón másica de agua (X^{W} b.s.); concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) y actividad de agua (a_w), al final del proceso de elaboración, para las zonas en estudio.

El comportamiento de los valores de actividad de agua (a_w) fue opuesto al observado para los valores de sal en la fase líquida (figura 34), siendo mayores para los jamones descongelados. Esta relación inversa quedó de manifiesto en la figura 36. Como se puede observar, al incrementar los valores de Z^{NaCl} también lo hicieron los de a_w .

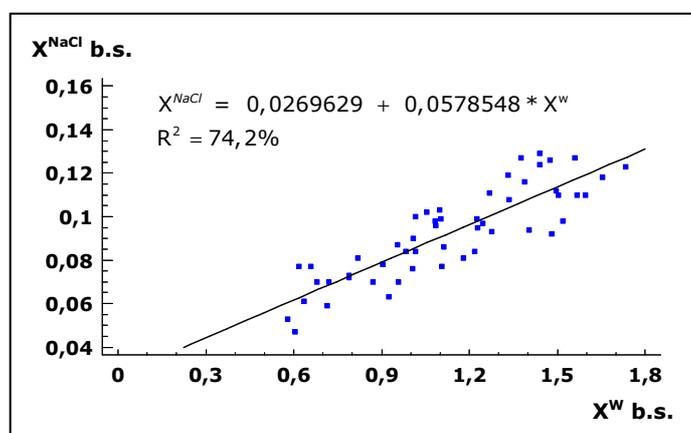


Figura 35. Relación entre los valores de razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) y la razón másica de agua (X^{W} b.s.), para los jamones al final del proceso de elaboración.

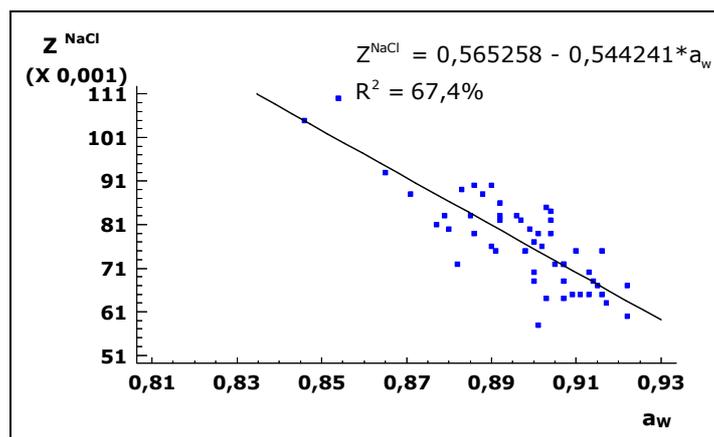


Figura 36. Relación entre los valores de concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_w), para los jamones al final del proceso de elaboración.

Si bien existe una relación directa entre la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) y los valores de actividad de agua (a_w), ésta a medida que avanza el proceso de elaboración del jamón curado se ve influida en mayor medida por la matriz proteica de jamón. Si observamos la figura 37, a medida que avanzó el proceso de elaboración, el comportamiento se desvió del presentado por una salmuera saturada la cual representaría el estado ideal. Este

5. Resultados y discusión

alejamiento, respecto de la salmuera saturada, podría estar reflejando como a medida que el jamón se deshidrata entran en juego otras fuerzas reductoras de la actividad de agua como puede ser la interacción con la matriz proteica. Este fenómeno explicaría porque el ajuste obtenido en la figura 36 presento un R^2 bajo.

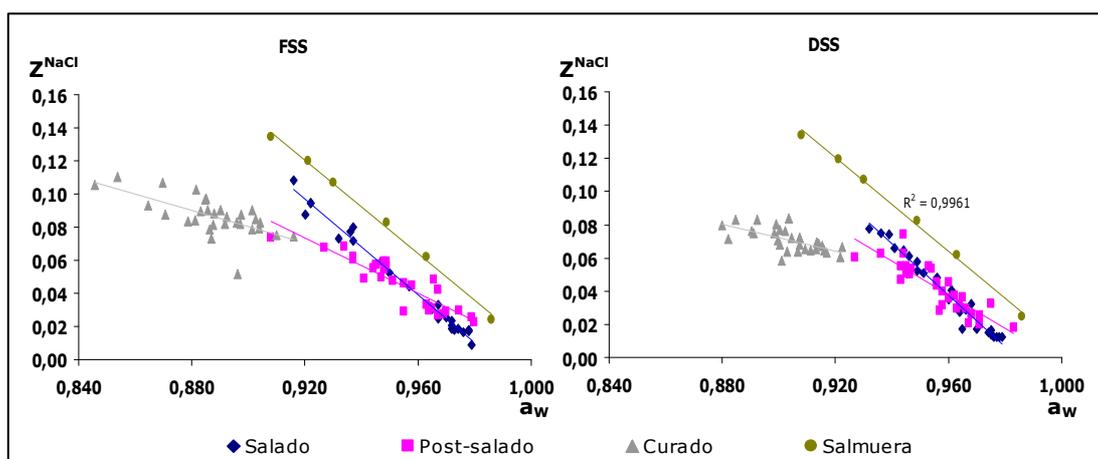


Figura 37. Valores de la concentración de sal de la fase líquida (Z^{NaCl}) y la actividad de agua (a_w) durante todo el proceso de producción, para los jamones FSS y DSS.

5.1.3.3. Análisis de los parámetros de color de las zonas en estudio.

En la figura 38 se muestran los valores de los parámetros de color, luminosidad (L^*), rojo-verde (a^*), amarillo-azul (b^*), que presentaron los jamones ibéricos curados en las diferentes zonas en estudio. Cuando se compararon los valores obtenidos para ambos tipos de jamones procedentes de materia prima fresca y descongelada en las diferentes zonas en estudio, estos no presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) para ninguno de los parámetros estudiados. En cambio en todos los casos existieron diferencias entre los valores obtenidos entre las zonas externas e internas, siendo mayores los obtenidos en las zonas más internas (C, F y E). Como se aprecia en la figura 38, las zonas que describen un

perfil interno del jamón (A, B y C) presentaron un gradiente positivo para todos los parámetros de color.

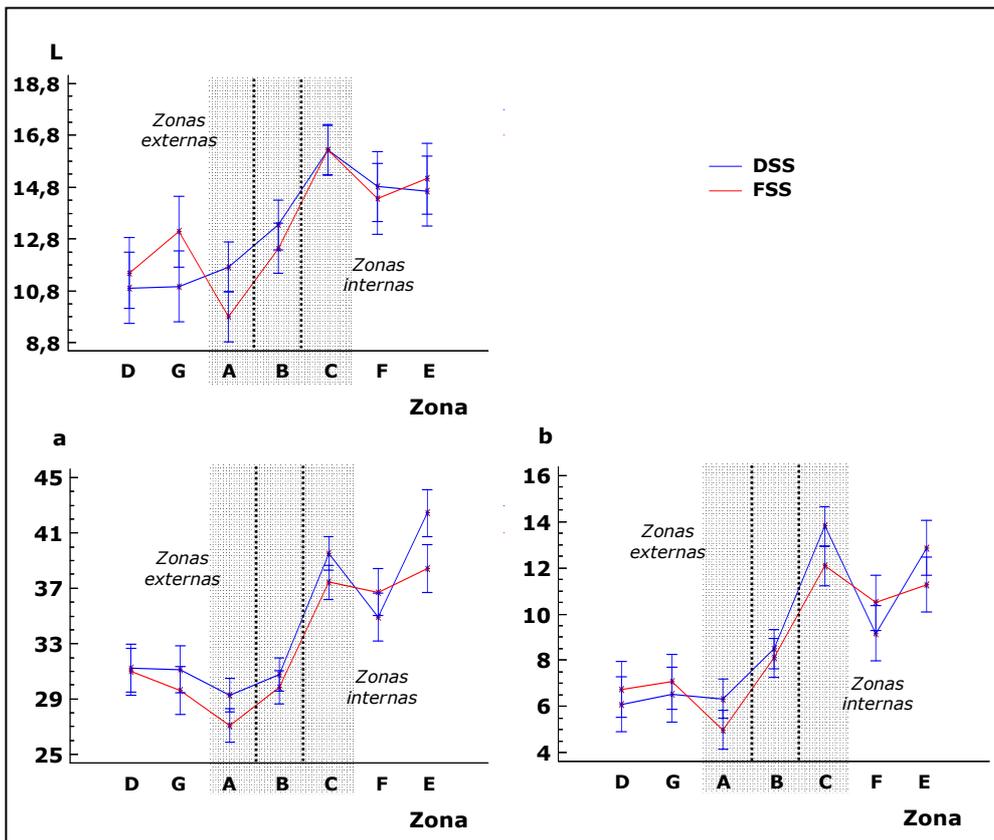


Figura 38. Valores de los parámetros de color, (L, a*, b*) para los jamones FSS y DSS, al final del proceso para las zonas en estudio.

La menor luminosidad presentada por las zonas más externas, pudo ser debida a la menor cantidad de agua (figura 34) de estas zonas. La disminución del contenido en agua reduce la reflexión de la luz y así mismo, los valores de luminosidad (Fernández-López et al., 2003). Como se aprecia en la figura 39, existió una relación muy directa entre la humedad de las muestras y la luminosidad presentada por las mismas (coeficiente de correlación = 0,89), siendo más luminosas aquellas con mayor humedad.

5. Resultados y discusión

Los valores promedio para las coordenadas de color a^* y b^* fueron significativamente diferentes entre los obtenidos para las zonas más externas del los jamones (D, G y A), con menores valores, frente a las zonas más internas (C, F y E). Para ambos parámetros los mayores valores fueron los presentados por las zonas más internas, como consecuencia de la mayor cantidad de sal de estas, lo cual pudo incrementar la formación de nitrosomioglobina (García-Esteban *et al.*, 2003), pigmento característico de los productos curados (Judge *et al.*, 1989; Pérez Alvarez *et al.*, 1999; Fernández-López *et al.*, 2004).

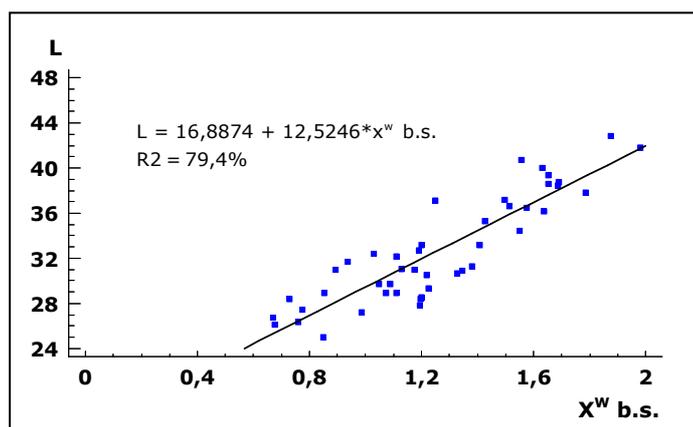


Figura 39. Relación entre los valores de luminosidad (L^*) y la razón másica de agua (X^w b.s.) para el jamón ibérico curado.

5.1.3.4. Análisis de los parámetros de textura de las zonas en estudio.

En la figura 40 se muestra el comportamiento de los parámetros relacionados con la textura, como son la adhesividad, cohesividad, dureza, elasticidad y masticabilidad para las zonas de estudio en los jamones ibéricos curados. Como se puede observar sólo los parámetros dureza y masticabilidad presentaron diferencias

significativas entre ambos tipos de materia prima utilizada para las zonas más externas (D y A).

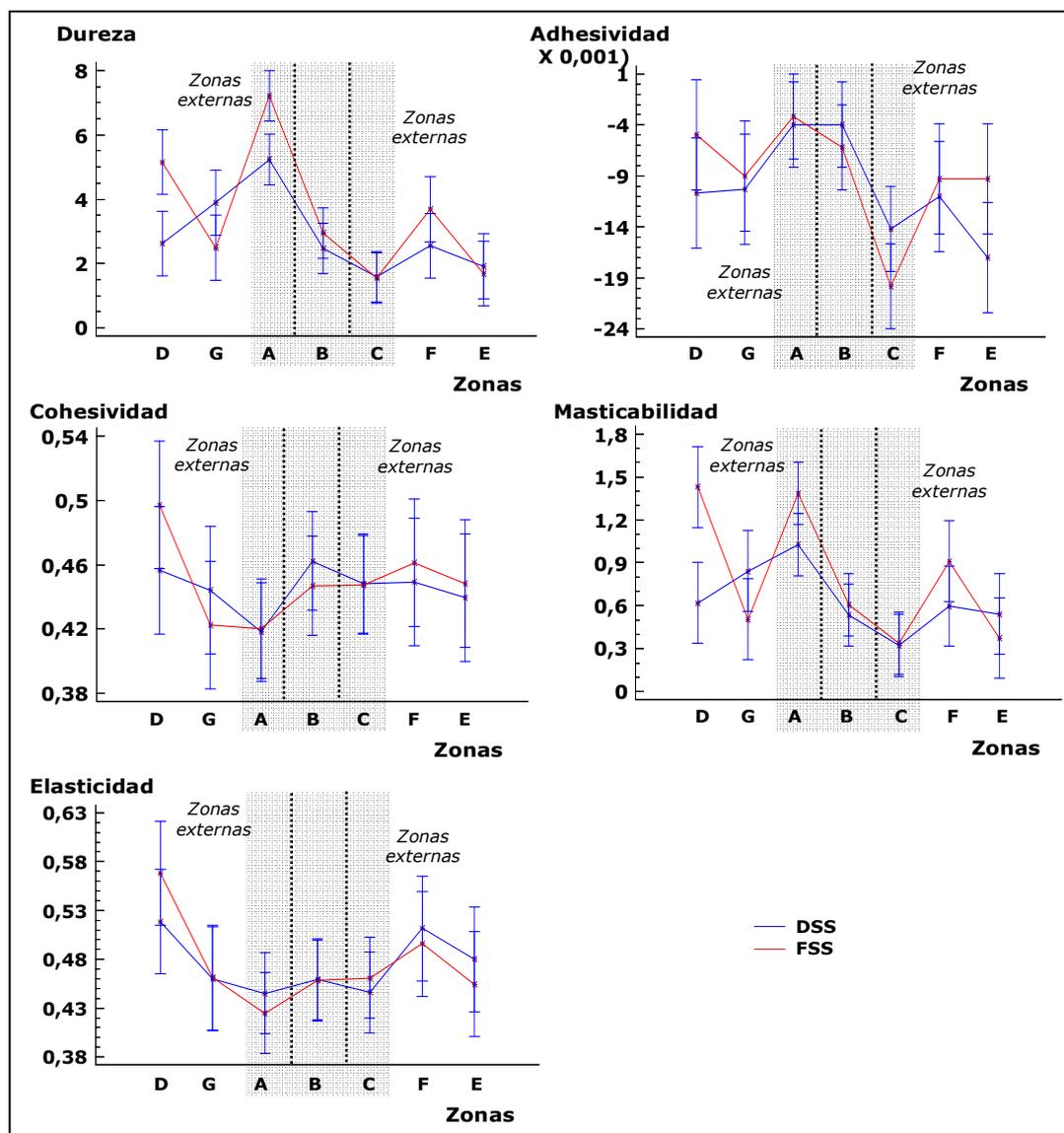


Figura 40. Valores de los parámetros de textura para el jamón ibérico curado procesado con materia prima fresca y descongelada, al final del proceso para las zonas en estudio.

5. Resultados y discusión

El resto de las zonas, así como de los parámetros, presentaron valores similares entre sí, lo cual mostraría como desde el punto de vista de la textura, la utilización de materia prima fresca o congelada no modificaría prácticamente ésta a excepción de una mayor dureza externa de los jamones FSS. Esto podría deberse a la mayor concentración salina, la cual influye sobre las enzimas y la capacidad de retención de agua por parte de las proteínas miofibrilares y por consiguiente sobre la cantidad de agua final y grado de apelmazamiento (Ruíz-Ramírez *et al.*, 2005).

Así Serra y colaboradores (2004) y Ruiz-Ramírez y colaboradores (2005) en estudios realizados sobre jamón procedente de cerdo blanco encontraron resultados similares, aunque como se muestra en la figura 41, la variación entre la cantidad de agua y la dureza no se produjo de forma lineal, incrementando de una forma brusca para valores de (X^w b.h.) cercanos a 1.

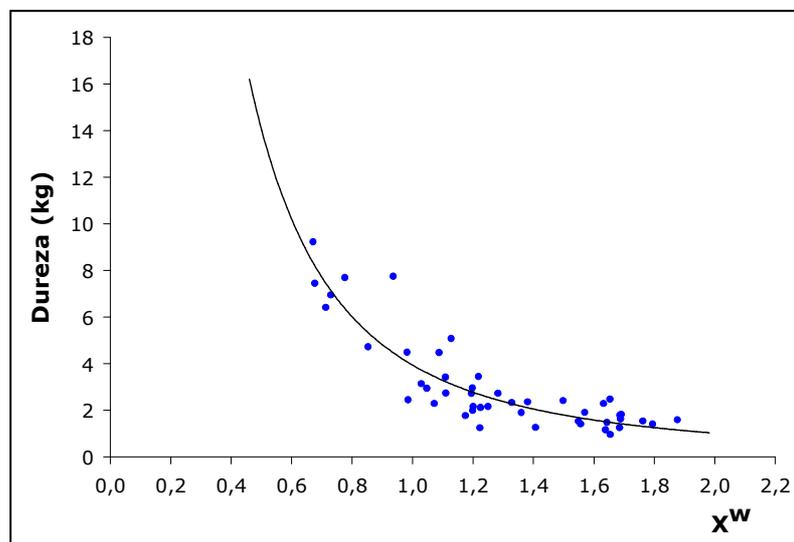


Figura 41. Relación existente entre la razón másica de agua (X^w b.s.) y la masticabilidad para el jamón ibérico curado.

En base a todos los resultados observados se podría decir que las principales diferencias físico-químicas fueron las observadas entre las zonas externas e internas del jamón, independientemente del tipo de materia prima utilizada (fresca o descongelada). Así mientras las zonas externas tuvieron menores valores de humedad y sal, las más internas tuvieron un comportamiento inverso, observándose una relación lineal entre el contenido de sal y agua.

Al mismo tiempo las zonas externas presentaron valores más bajos de L^* , a^* y b^* y mayores de dureza y masticabilidad como consecuencia de su menor contenido en agua, mientras que la actividad de agua y la concentración salina, expresada en la fase líquida, tuvieron valores similares para todas las zonas estudiadas.

Desde el punto de vista de la materia prima, la cantidad de sal, dureza y masticabilidad fueron los únicos parámetros físico-químicos que presentaron diferencias significativas, siendo menores para los jamones elaborados con materia prima descongelada, como consecuencia de su menor tiempo de salado. Así se podría decir que al contrario de la que ocurre en cerdo blanco el tiempo de salado, independientemente del tipo de materia prima utilizada, debería ser igual o cuanto menos presentar una diferencia menor en los ratios de salado (tiempo / kg de materia prima).

5.2. Fase II. Aplicación de la tecnología de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, al proceso de elaboración de jamón ibérico a partir de materia prima congelada

Para el análisis del efecto de la aplicación de la técnica de salado/descongelación simultáneos sobre el proceso de elaboración de jamón ibérico se diseñaron tres diferentes etapas. La primera de ellas consistió en la evaluación de la etapa de salado, donde se definió el tiempo óptimo de salado para alcanzar la misma concentración salina que en el proceso tradicional utilizando materia prima descongelada. En la segunda etapa se evaluó la incidencia del salado en salmuera sobre la etapa de post-salado. Finalmente en la tercera etapa se procedió al análisis de la influencia del salado en salmuera sobre la etapa de curado y sobre el producto final.

5.2.1. Estudio de la etapa de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío, de jamones ibéricos congelados.

Para la realización de este estudio fueron empleados 36 perniles, los cuales fueron divididos en dos grupos de acuerdo con la aplicación o no del pulso de vacío. En ambos casos se realizó el salado de los perniles en salmuera saturada, a tres diferentes tiempos (3, 5 y 7 días). Previo a este estudio caracterizó el proceso de descongelación en salmuera mediante el empleo de tres perniles, los cuales fueron descongelados en salmuera saturada.

5.2.1.1. Caracterización del proceso de descongelación de los perniles por inmersión en salmuera saturada.

Dado que el proceso de salado/descongelación simultanea en

salmuera saturada incluye la etapa de descongelación de los perniles por inmersión en ésta y que además se planteó el uso de pulsos de vacío durante la etapa de salado en algunas de las experiencias, se procedió al estudio previo del proceso de descongelación de los perniles en salmuera saturada a 3°C. Dicho estudio tuvo como finalidad conocer la evolución de la temperatura en cinco diferentes zonas del perril (figura 10), dado que en estudios realizados en cerdo blanco (Barat *et al.*, 2004) se estableció que el tiempo apropiado para la aplicación de pulsos de vacío debe ser posterior a la descongelación total de los perniles.

En alimentos, a partir de una temperatura de -1°C, se puede considerar que éstos ya no se encuentran congelados (Lewis, 1993). En este trabajo, para actuar de forma más restrictiva, se consideró como temperatura de descongelado los 0°C en el punto más desfavorable del jamón. Así como se muestra en la figura 42, en la que se presenta la evolución de la temperatura de los cinco puntos en estudio a diferentes profundidades para los tres jamones empleados, los puntos P1 y P5, situados a 2 cm de la superficie magra y grasa respectivamente, alcanzaron los 0 °C a 10 y 36 horas respectivamente. Los puntos P2 y P4, situados a 7 cm de la superficie magra y grasa respectivamente, alcanzaron la misma temperatura a las 35 y 48 horas respectivamente. Las diferencias en los tiempos de descongelación encontradas entre los puntos P2 y P4, así como entre los puntos P1 y P5 (ambos puntos de cada par situados a la misma distancia de la superficie) se debió principalmente a la presencia de la capa de grasa subcutánea en los perniles, la cual al presentar un menor valor en el coeficiente de transferencia de calor (0,389 W/m K), frente al valor del magro (0,4433 W/m K) (Gruda & Postolski, 1986; Ngadi *et al.*, 2003) freno el proceso de descongelación. Así

5. Resultados y discusión

pues, el punto más desfavorable, es decir el último punto en alcanzar los 0°C, fue el punto P4, el cual necesitó de 48 horas para alcanzar dicha temperatura.

Para tener la certeza de la completa descongelación del pernil, debido a la gran variabilidad que puede presentar la materia prima, se estableció el tiempo de descongelado entorno a 54 horas, tiempo definido como el momento en el cual aplicar el pulso de vacío. Este tiempo fue muy similar al observado en estudios previos con pernils de cerdo blanco (Barat *et al.*, 2004).

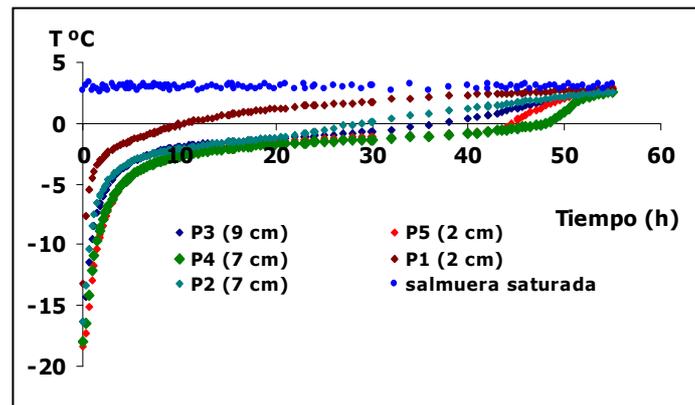


Figura 42. Evolución de la temperatura en diferentes zonas del jamón sumergido en salmuera saturada a 3°C, a lo largo del tiempo.

5.2.1.2. Caracterización de la etapa de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío.

Una vez definido el tiempo necesario para la aplicación del pulso de vacío se procedió a realizar el estudio de la aplicación de la etapa de salado/descongelación en salmuera saturada, de pernils procedentes de cerdo ibérico a tres diferentes tiempos (3, 5 y 7 días),

con y sin la aplicación de pulso de vacío. El objetivo fue determinar el tiempo óptimo de aplicación de la técnica, que permita alcanzar la concentración adquirida por los jamones procesados por el método tradicional en sal sólida.

5.2.1.2.1. Caracterización físico-química del pernil

a. *Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.).*

El empleo de un método de salado distinto, al tradicionalmente utilizado, no sólo puede afectar la entrada de sal sino que también puede afectar la salida de agua. Si además se tiene en cuenta, tras observar los datos obtenidos durante el periodo de experimentación, la gran variabilidad en la cantidad de grasa de los diferentes jamones analizados independientemente del estado de la materia prima ($X^g_{\text{máximo}} = 1,78$; $X^g_{\text{mínimo}} = 0,50$) y las consecuencias que ello puede conllevar en el flujo de agua y sal (Wood, 1966; Fox, 1980; Gou, 2000) hace necesario que la expresión de la concentración de sal a alcanzar en el jamón no se exprese en fracción másica (x^{NaCl}), y por lo tanto en razón másica (X^{NaCl} b.s.), es decir, en base seca, sin grasa y sin sal.

Al someter los perniles al salado con salmuera saturada se produjo un aumento de la razón másica de sal presente en ellos, respecto a la cantidad de sal original de la materia prima (figura 43). Dicho aumento fue superior en los perniles sometidos a un pulso de vacío respecto a los que no lo sufrieron, aunque las diferencias sólo fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$) a partir de los 5 días de tratamiento (tabla 10). El pulso de vacío implicó la toma de una parte de la salmuera externa que rodea al pernil mediante mecanismos

5. Resultados y discusión

hidrodinámicos (Fito, 1994), lo que llevó asociado una ganancia de sal. El tiempo de salado también resultó ser un factor significativo ($p < 0,05$) (tabla 10), aumentando para ambos tipos de proceso el valor de X^{NaCl} b.s. a medida que aumentó el tiempo de salado (figura 43) (Barat *et al.*, 2001; Barat *et al.*, 2004), si bien para los pernils salados sin aplicación de pulso de vacío (SPV) durante 3 y 5 días, esta diferencia no fue significativa.

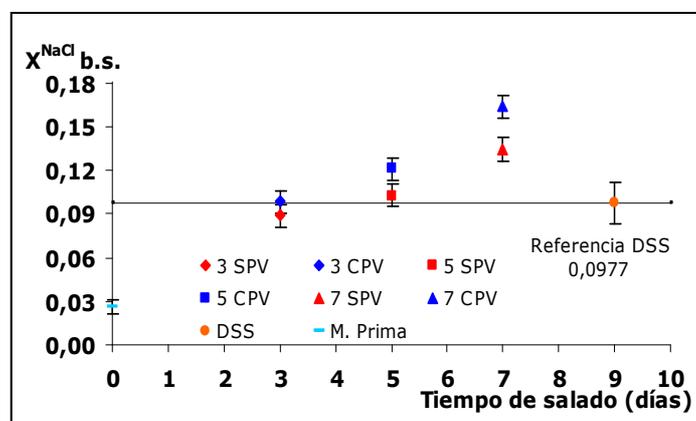


Figura 43. Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) de los pernils sometidos a la etapa de salado en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

Tabla 10. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro X^{NaCl} b.s. y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0000
B Tipo de proceso	0,0001
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,1794

Al observar la figura 44, en la que se muestra el incremento de sal entre los jamones CPV y SPV, se puede apreciar como la influencia del pulso de vacío sobre la cantidad de sal ganada se vio incrementada con el tiempo de salado, siendo cada vez mayor la diferencia entre la concentración salina de los jamones salados con aplicación de pulso de vacío frente a los salados sin éste. Estas

diferencias podrían deberse a cambios producidos en los mecanismos difusionales como consecuencia de la salmuera captada por efecto del vacío, dado que éste, independientemente del tiempo de salado, se realizó de forma constante durante 3 horas, una vez los perniles estuvieron descongelados.

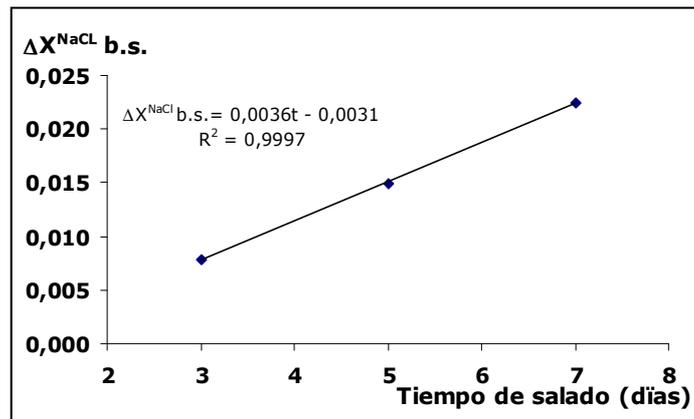


Figura 44. Diferencias de la razón másica de sal ($X^{\text{NaCl}} \text{ b.s.}$) entre los jamones CPV y SFV para los días de salado empleados.

Con la finalidad de establecer el tiempo necesario para alcanzar una cantidad de sal tal que asegure el posterior desarrollo de las etapas de elaboración, se procedió a comparar los resultados de la razón másica de sal obtenida para los diferentes tiempos de salado con los obtenidos en el apartado 5.1., en el que se salaron jamones ibéricos descongelados utilizando sal sólida (jamones DSS). El valor salino expresado en base seca exenta de sal y grasa obtenido en este estudio fue de $0,106 \pm 0,02$ (figura 14). Así el uso de salmuera evidenció una clara disminución en el tiempo requerido para alcanzar dicha concentración de sal respecto al tiempo empleado en el proceso de salado tradicional (figura 43). Mientras el salado tradicional requirió 9 días de salado, a lo que hubo que añadir 4 días para descongelar el pernil a una temperatura microbiológicamente segura

5. Resultados y discusión

(3°C) (Bañon *et al.*, 1999), es decir, unos 13 días en total, los jamones salados en salmuera a presión atmosférica (SPV) solo necesitaron 5 días para ser descongelados y salados (figura 43). En el caso de los salados en salmuera pero con pulso de vacío, el tiempo aún se redujo más, siendo el tiempo total empleado para el salado y descongelado simultaneo de 3 días (figura 43). Además, la aplicación del pulso de vacío produjo un desangrado de los perniles (generada por el efecto hidrodinámico), al observarse con su aplicación la formación de una aureola de sangre en la superficie de la salmuera, que se situó encima de la vena femoral del pernil. Este factor podría reducir la posibilidad de un crecimiento de microorganismos en el interior del jamón por la eliminación de la sangre interna, lo cual sería un factor añadido a la reducción del tiempo de salado.

Así pues, y en el caso de que el resto de análisis no mostrasen factores negativos a la aplicación de esta técnica de salado, se podría decir que el tiempo de salado de perniles ibéricos congelados mediante esta técnica se redujo en un 61% y en un 77% para los jamones descongelados y salados simultáneamente sin pulso de vacío (SPV) y con pulso de vacío (CPV) respectivamente. Por lo tanto de los 13 días necesarios en el método tradicional (4 días de descongelación en cámara frigorífica más 9 días de salado con sal sólida) se pasaría a los 5 y 3 días del salado/descongelado en salmuera respectivamente.

b. Determinación de la razón másica de agua (x^w b.s.)

En el salado tradicional, durante la etapa de salado con sal sólida, la disminución de la humedad en el pernil es debida al efecto osmótico producido por las sales que cubren la superficie del pernil (Boadas *et al.*, 2001), y a mecanismos hidrodinámicos, debido al

peso de las capas de jamones, unos sobre los otros, y a los fenómenos capilares del lecho de sal, que provoca la salida de fluidos del interior del pernil.

En un proceso de salado en salmuera los mecanismos de transferencia de materia son producidos principalmente por los fenómenos osmóticos generados por la diferencia de concentración salina entre la salmuera y los perniles, no existiendo el efecto de capilaridad, ni el efecto tan acusado de la presión como ocurre en el salado por apilado en sal sólida.

Como se puede observar en la tabla 11, ni los diferentes tiempos, ni tipos de salado utilizados resultaron ser factores significativos ($p > 0,05$) respecto a la respuesta experimentada por la razón másica de agua de los jamones. Así mismo, tampoco resultó significativa ($p > 0,05$) la interacción entre ambos factores (tabla 11).

Tabla 11. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro X^w b.s y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,1047
B Tipo de proceso	0,0804
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,5787

Aunque no existieron diferencias significativas en los valores de X^w b.s. en función del tiempo de salado, si se observó un descenso paulatino de los valores. El contenido en agua de los jamones al final de cada tiempo de salado en estudio fue inferior al de materia prima (figura 45), siendo la diferencia a los 7 días de salado cercana al 5%.

5. Resultados y discusión

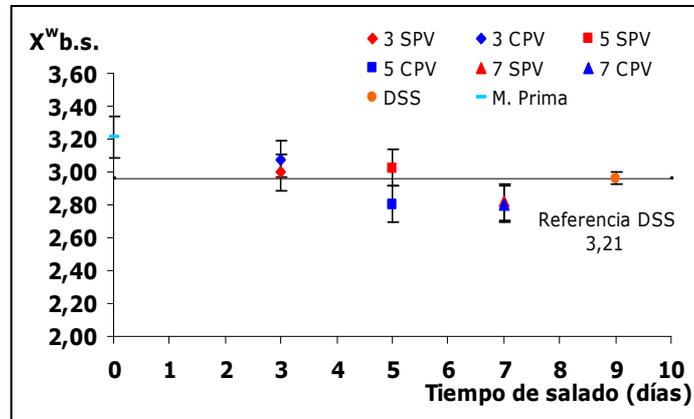


Figura 45. Razón másica de agua (X^w b.s.) de los perniles sometidos a la etapa de salado en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

De acuerdo con algunas investigaciones anteriores, la deshidratación osmótica es inferior en el salado con salmuera saturada con y sin aplicación de pulso de vacío respecto a la conseguida en el salado tradicional. Sin embargo, al comparar los valores obtenidos en la experiencia para los jamones SPV y CPV con los obtenidos para jamones descongelados salados con sal sólida DSS (X^w b.s. = $2,69 \pm 0,06$) (figura 45), los valores de la razón másica de agua resultaron ser similares para los tres tipos de salado, e incluso, los jamones salados en salmuera saturada a los 5 y 7 días de salado presentaron una menor humedad que los salados con el método tradicional.

Este resultado podría atribuirse a una menor incidencia del efecto de la presión ejercida por la pila de sal y del fenómeno de capilaridad sobre la deshidratación sufrida por los perniles procedentes de raza ibérica. Otra posible explicación podría atribuirse a la fuerte deshidratación inicial de la capa externa del pernil en contacto con la sal sólida. Esta deshidratación, junto con la ganancia de sal, reduciría la sucesiva salida de agua.

c. Determinación de la actividad de agua (a_w)

La sal es un ingrediente fundamental en las salazones cárnicas. Además del efecto aportado al sabor, tiene un importante efecto sobre la estabilización microbiológica por reducción de la actividad de agua (a_w), y sobre la textura del producto (Chobert *et al.*, 1981). Uno de los objetivos principales del proceso de obtención del jamón curado es la estabilización microbiológica de la carne, la que se consigue fundamentalmente disminuyendo la actividad del agua (Leistner, 1985).

Al someter los perniles al salado en salmuera saturada, tanto en los jamones SPV como los CPV, con el incremento del tiempo de salado, disminuyó la a_w del jamón (figura 46), siendo el tiempo de salado un factor significativo ($p < 0,05$) (tabla 12). Además, el tipo de proceso también resultó ser significativo ($p < 0,05$) (tabla 12), presentando un valor menor de a_w los jamones sometidos al proceso CPV, los cuales presentaron, como anteriormente se ha mencionado, mayores valores de X^{NaCl} b.s. (figura 43) y menores valores de X^w b.s. (figura 45). En cambio la interacción entre ambos factores de salado (tiempo de salado y tipo de proceso) no resultó significativa ($p > 0,05$) (tabla 12).

Tabla 12. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro a_w y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0008
B Tipo de proceso	0,0021
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,2134

5. Resultados y discusión

Cuando se comparó el valor de actividad de agua de los jamones DSS al final del salado ($a_w = 0,968 \pm 0,002$), con los valores de los jamones salados durante los diferentes tiempos, definidos como posible tiempo de salado en salmuera (5 días para los SPV y 3 días para los CPV) (figura 46), se vio como para estos últimos los valores obtenidos fueron ligeramente menores al de referencia, por lo que se podría decir que el salado con salmuera saturada implicaría alcanzar valores de a_w óptimos en un menor tiempo de salado.

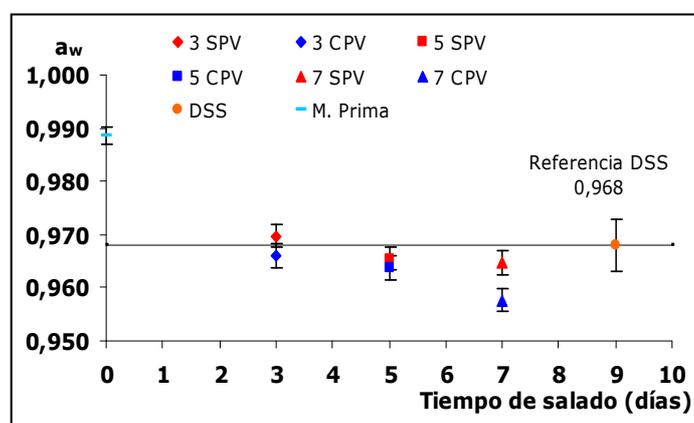


Figura 46. Actividad de agua (a_w) de los perniles sometidos a la etapa de salado en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

d. Determinación de la variación de masa (ΔM_t^0).

Los jamones durante la etapa de salado sufrieron tanto para los diferentes tiempos de salado establecidos previamente, como para ambos tipos de salado, una variación de masa positiva (ganancia de peso) (figura 47). Este ascenso ya fue detectado en estudios anteriores (Deumier *et al.*, 2003a; Barat *et al.*, 2004), en los cuales se observó que hubo una menor pérdida de masa respecto al salado en seco, o incluso un aumento de dicha masa al utilizar el salado en salmuera.

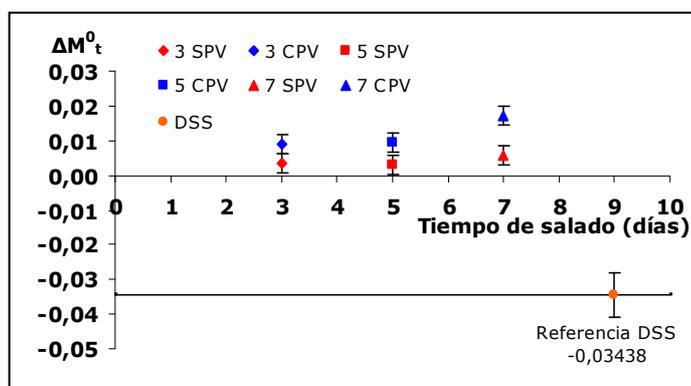


Figura 47. Variación de masa total (ΔM_t^0) al final de la etapa de salado en salmuera, para los jamones SPV y CPV.

El tiempo de salado influyó de forma significativa ($p < 0,05$) (tabla 13), aumentando la masa de los jamones al incrementarse la duración del salado (figura 47). En los jamones CPV existieron diferencias significativas respecto a su variación de masa entre los tiempos de salado 3-5 días respecto a los 7 días. En cambio para los salados a presión atmosférica no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tiempos de salado, pero sí un aumento de la variación de masa destacable en los jamones sometidos a 7 días de salado.

El tipo de proceso también resultó ser significativo ($p < 0,05$) (tabla 13), mostrando que los jamones CPV tuvieron mayor ganancia de peso que los jamones SPV (Deumier, 2003b) (figura 47), como consecuencia de la acción de mecanismos hidrodinámicos por la aplicación del pulso de vacío (Chiralt *et al.*, 2001).

Tabla 13. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro ΔM_t^0 y la interacción (AB) entre ambos factores.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0153
B Tipo de proceso	0,0000
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,2500

5. Resultados y discusión

Al comparar los valores obtenidos para los diferentes tipos y tiempos de salado en salmuera saturada con los de los jamones DSS (figura 47), se comprobó que éstos últimos presentaron una variación de masa negativa (pérdida de peso), siendo por tanto el comportamiento totalmente diferente. Esto en principio no debería suponer un problema, pero hay que recordar que los jamones durante su proceso de elaboración deben sufrir una deshidratación, con lo que esta ganancia de peso podría conllevar, en su caso, un cambio en la etapa de post-salado y/o secado.

Al observar los valores de ΔM_t^0 (figura 47), para todos los jamones, se podría intuir que éstos además de ganar sal también ganaron agua ya que según el balance $\Delta M_t^0 = \Delta M^{\text{NaCl}} + \Delta M^{\text{W}}$ y dado que $\Delta M_t^0 > \Delta M^{\text{NaCl}}$, la ΔM^{W} tendría que ser positiva. En cambio cuando se analizó la cantidad de agua X^{W} b.s. (figura 45), se vio que los jamones tuvieron una deshidratación. La posible explicación a esto podría estar en la forma con la que se gana la salmuera. Ésta penetraría en los perniles depositándose en los espacios intersticiales, generando el aumento de peso y produciendo la deshidratación del magro. Durante la toma de muestra, para el análisis de humedad, parte de esta salmuera se vería liberada no quedando registrada en el análisis de humedad y si en cambio el efecto deshidratador producido. Este mismo comportamiento ya fue observado en jamón procedente de cerdo blanco (Grau, 2002)

5.2.1.2.2. Caracterización físico-química de las diferentes zonas de los perniles al final de la etapa de salado en salmuera.

Con la finalidad de evaluar cual fue la evolución de los parámetros físico-químicos en el interior del pernil al final del salado como consecuencia de la aplicación de la técnica de salado en salmuera, se

procedió a realizar éste en las tres zonas de estudio que caracterizan el perfil interno del pernil (zona A, B y C). A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los diferentes parámetros estudiados (X^{NaCl} b.s.; X^{W} b.s.; Z^{NaCl} y a_w) de las zonas estudiadas

a. Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.).

Durante la etapa de salado la sal penetró en el jamón, situándose en su zona más externa (zona A) (figura 48). Las zonas B y C (figuras 49 y 50) presentaron niveles de sal mucho menores, y con valores similares entre ellos, debido a su posición más interna en la masa del jamón.

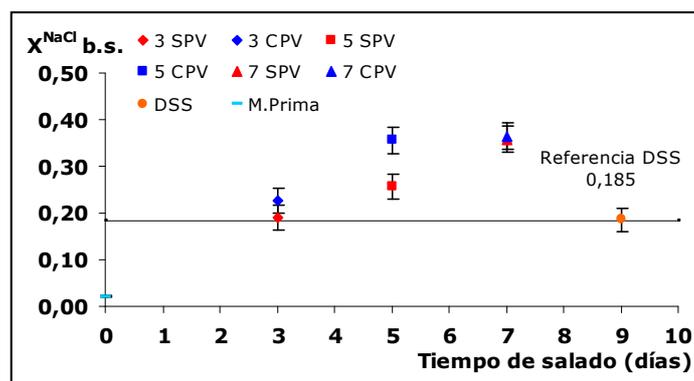


Figura 48 Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), para la zona A, en los pernils salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

En esta zona A del jamón, al aumentar el tiempo de salado aumentó la cantidad de sal (X^{NaCl} b.s.) en ambos tipos de salado (figura 48), siendo el tiempo y tipo de proceso factores significativos ($p < 0,05$) (tabla 14).

5. Resultados y discusión

Tabla 14. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^{NaCl} b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0000
B Tipo de proceso	0,0168
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,0221

La interacción existente entre las variables materia prima y tiempo de salado (tabla 14), fue debida al comportamiento de la concentración de sal de los jamones, dado que aunque en todos los valores para los jamones CPV fueron mayores que los de los jamones SPV, solo para los 5 días de salado esta diferencia fue significativa (figura 48). Si bien observando la tendencia de la razón másica de sal de los jamones SPV durante los 3 diferentes días de toma de muestra, hubiera sido de esperar que el valor de la concentración de sal para los jamones CPV con 7 días de salado hubiera sido mayor y así mantener la misma tendencia observada para los SPV.

Cuando los valores de la zona A de los jamones SPV y CPV se compararon con la misma zona pero para los jamones elaborados tradicionalmente (DSS) (figura 48), se observó como a los 3 días de salado esta zona, para ambos tipos de jamones, ya había alcanzado el valor de referencia DSS, el cual necesito de 9 días de salado

El valor X^{NaCl} b.s. en la zona B de los jamones salados en salmuera saturada (figura 49), a pesar de no verse muy afectada por el tiempo de salado, ni por el tipo de proceso (tabla 15), si que aumentó respecto al valor presente en la materia prima (0,0224), tomando valores que variaron entre 0,0313 y 0,053 (figura 49).

El valor de la variable X^{NaCl} b.s en los jamones DSS fue ligeramente superior al presentado en los pernils SPV y CPV para todos los tiempos de salado (figura 49). La explicación a la menor razón másica

de sal de esta zona en los jamones salados en salmuera, respecto a los salados tradicionalmente, podría encontrarse en el tiempo de salado. Los jamones DSS tuvieron un total de 9 días de salado, tiempo suficiente como para que la sal llegue a esta zona. En cambio los jamones salados con salmuera, como máximo tuvieron 7 días de salado y dada la lenta difusión de la sal a través de la carne (Lautenschläger, 1995), este tiempo no sería el suficiente.

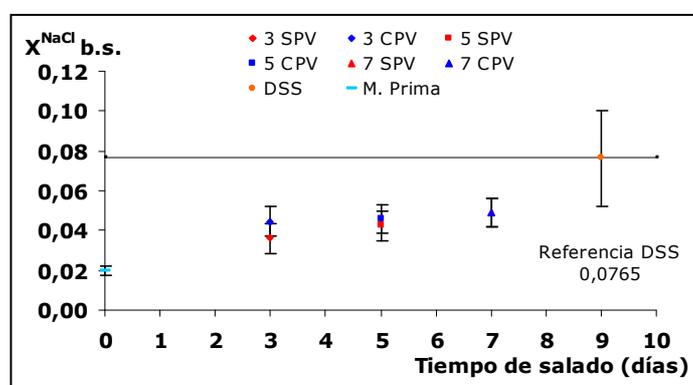


Figura 49 Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), para la zona B, en los pernils salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

Tabla 15. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^{NaCl} b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona B.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,1724
B Tipo de proceso	0,2509
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,6073

La zona C se encuentra situada a continuación de la capa adiposa subcutánea del pernil (figura 13), con elevados niveles de grasa ($X^g=0,38$), por lo que la entrada de sal durante el salado a esta zona normalmente se ve dificultada, por la baja difusividad de la salmuera a través de la capa grasa (Wood, 1966) y por la distancia a la superficie magra. A pesar de ello, al igual que en la zona B, también

5. Resultados y discusión

se observó un pequeño aumento de la razón másica de sal en la fase líquida al aumentar el tiempo de salado (figura 50).

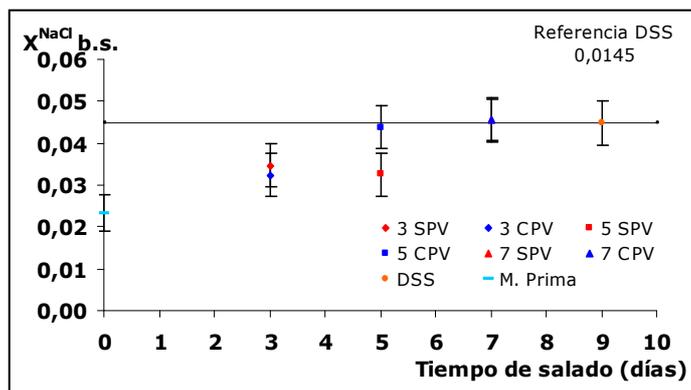


Figura 50 Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), para la zona C, en los pernils salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

El valor de X^{NaCl} b.s en la zona C aumentó respecto al valor de la materia prima (0,0233), tomando valores que variaron entre 0,0267 y 0,0488 (figura 50). Solo la variable tiempo de salado resultó ser significativo ($p < 0,05$) (tabla 16), aumentando la concentración salina a aumentar el tiempo de salado. El valor X^{NaCl} b.s de la variable para los jamones CPV para 5 y 7 días de salado y los SPV para 7 días de salado, se aproximaron al de los jamones DSS, no existiendo diferencias entre ellos (figura 50).

Tabla 16. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^{NaCl} b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona C.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0026
B Tipo de proceso	0,1960
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,0745

b. Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.).

La zona A del jamón (figura 51) fue la zona más relevante desde el punto de vista de la variación del razón masica de agua (X^W b.s.). En esta zona se acumuló la mayor cantidad de sal durante el salado (figura 48), y por tanto la que se deshidrató en mayor medida, generando los valores más bajos frente a las demás zonas de los perniles (figura 52 y 53).

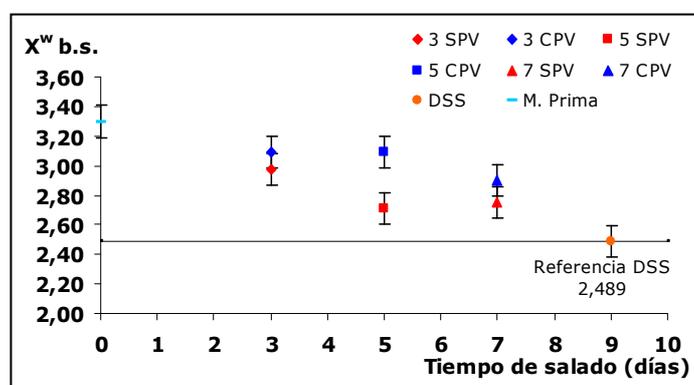


Figura 51 Razón másica de agua (X^W b.s.), para la zona A, en los perniles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

En esta zona del jamón, al aumentar el tiempo se presentaron dos comportamientos. En el primero los jamones CPV presentaron valores de humedad similares entre los 3 y 5 días de salado, disminuyendo a los 7 días de salado. Por otro lado, en los jamones SPV los valores de X^W b.s. disminuyeron a los 5 días de salado, permaneciendo constantes para los 7 días de salado. Sin embargo, para ambos tipos de jamones, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$) (tabla 17).

5. Resultados y discusión

Tabla 17 Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^w b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,2317
B Tipo de proceso	0,0369
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,3875

El tipo de proceso resultó ser un parámetro que presentó una influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) (tabla 17) sobre el comportamiento del contenido de humedad en base seca exenta de grasa (X^w b.s.), en los diferentes días de proceso, como consecuencia de los diferentes valores de humedad de los jamones para los 5 días de salado.

En la zona B, los valores de X^w b.s. fueron estadísticamente similares ($p < 0,05$) en todos los casos (figura 52). Adicionalmente se observó como los valores en esta zona son inferiores a los obtenidos para los jamones DSS, lo cual demuestra el efecto del salado en salmuera sobre la deshidratación de las zonas internas de los jamones.

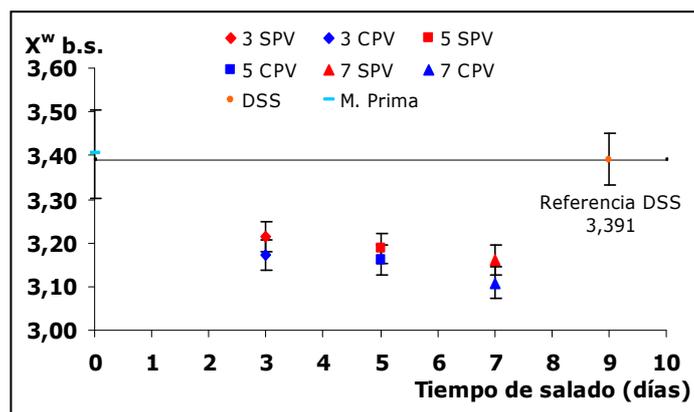


Figura 52 Razón másica de agua (X^w b.s.), para la zona B, en los pernils salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

En la zona B de los perfiles salados con salmuera saturada, no resultó significativo ($p > 0,05$) ningún factor de salado (tiempo de salado y tipo de proceso) ni la interacción entre ellos, respecto a la respuesta experimentada por los valores X^W b.s. (tabla 18). Por consiguiente, la deshidratación presentada no es influenciada por la aplicación, o no, de pulsos de vacío.

Tabla 18. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^W b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona B.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,2041
B Tipo de proceso	0,1281
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,4139

En la zona más interna (zona C), adjunta a la grasa subcutánea, los valores para la variable X^W b.s. no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos (figura 53), no existiendo influencia ni del tipo de salado ni del tiempo de proceso (tabla 19)

Cabe anotar, que en esta zona se presentó una gran dispersión en los datos de la fracción másica de agua, debido a la gran concentración de grasa presente en la zona y a su dispersión. Los valores hallados se situaron por encima de los valores encontrados para los perfiles DSS (figura 53).

Tabla 19. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (X^W b.s.), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona C.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,9456
B Tipo de proceso	0,5939
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,8507

5. Resultados y discusión

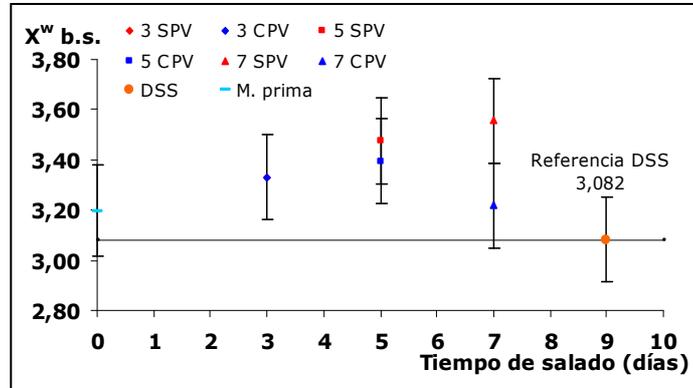


Figura 53. Razón másica de agua (X^w b.s.), para la zona C, en los perfiles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

c. Determinación de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}).

Dado que en la zona A es donde se encuentran las cantidades más altas de sal y a su vez es la zona que más se deshidrata, los valores de concentración de sal en fase líquida Z^{NaCl} de esta zona (figura 54) fueron mayores que los de las zonas B (figura 55) y C (figura 56).

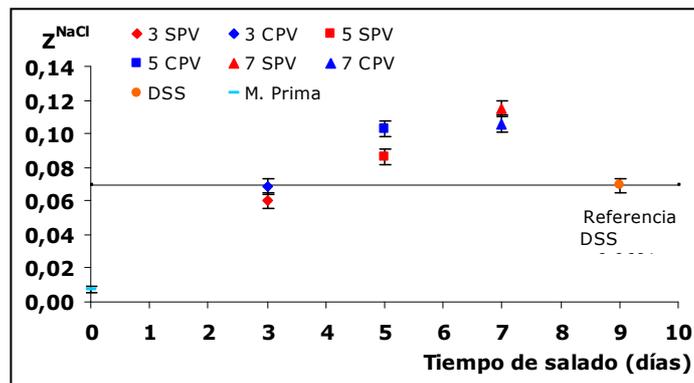


Figura 54. Concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}), para la zona A, en los perfiles salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

Como se observa en la tabla 20, tanto el tiempo de salado, como la interacción entre éste y el tipo de proceso fueron influyentes en los

valores de Z^{NaCl} de los jamones. En cambio el tipo de proceso no presentó ninguna influencia sobre estos valores (tabla 20).

El estudio de la variable tiempo mostró como al aumentar éste también lo hicieron los valores de Z^{NaCl} , siendo para todos los tiempos de salado de los jamones SPV diferentes estadísticamente. En cambio para los jamones CPV las diferencias sólo se dieron entre los salado durante 3 días con respecto a los salado durante 5 y 7 días (figura 54).

La variable tipo de proceso aun no siendo significativo (tabla 7) los valores de Z^{NaCl} fueron para los 3 y 5 días de salado superiores para los jamones CPV. En cambio a los 7 días de salado, ambos tipos de jamones presentaron la misma concentración salina (figura 54).

Al comparar los valores Z^{NaCl} de los jamones salados con salmuera con los salados tradicionalmente (DSS) (figura 54) se vio como ya a los 3 días de salado aquellos salados con salmuera alcanzaron concentraciones salinas similares a los DSS.

Tabla 20. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (Z^{NaCl}), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0000
B Tipo de proceso	0,0649
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,0094

Para la zona B se observó que los valores de Z^{NaCl} (figura 55) fueron inferiores a los observados para los jamones DSS, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas en función del tipo de salado ni del tiempo de salado. Además la interacción entre

5. Resultados y discusión

ambos factores tampoco resultó significativa (tabla 21). En cambio aunque no existió influencia significativa del tiempo de salado, si se reflejó una ligera tendencia a aumentar los valores de Z^{NaCl} de los jamones con el incremento del tiempo de salado (figura 55).

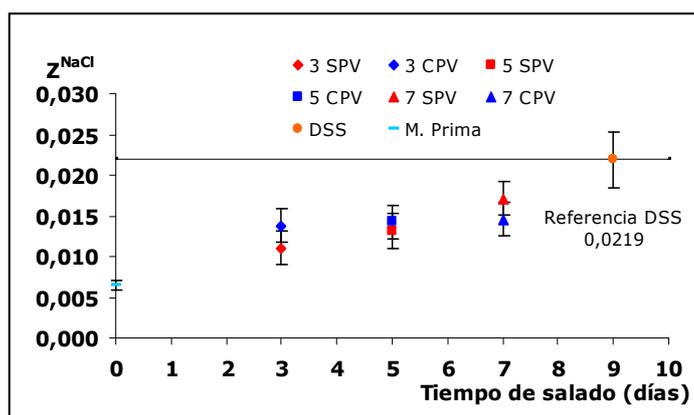


Figura 55. Concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}), para la zona B, en los pernils salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

Tabla 21. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (Z^{NaCl}), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona B.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0778
B Tipo de proceso	0,7176
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,1819

En la zona C el factor tiempo de salado y tipo de proceso resultaron estadísticamente significativos, no encontrándose influencia de la interacción de ambos sobre los valores de Z^{NaCl} (tabla 22).

Si bien ambos tipos de jamones aumentaron los valores de Z^{NaCl} con el tiempo, éste se produjo de forma diferente. Mientras los jamones SPV tuvieron valores similares de Z^{NaCl} durante los dos primeros tiempos de salado (3 y 5 días), a los 7 días de salado se

produjo un incremento significativo de la concentración salina. En cambio en los jamones CPV el incremento significativo se produjo a los 5 días de salado, siendo el valor a los 7 días de salado prácticamente el mismo que a los 5 (figura 56).

Al compara los valores de Z^{NaCl} de los jamones salados con salmuera con los DSS (figura 56), se observó como los CPV alcanzaron dicho valor a los 5 días, mientras que los SPV necesitaron de 7 días. Esta diferencia podría ser debida al efecto que el pulso de vacío pudo generar sobre la estructura proteica del pernil o sobre los mecanismos de difusión.

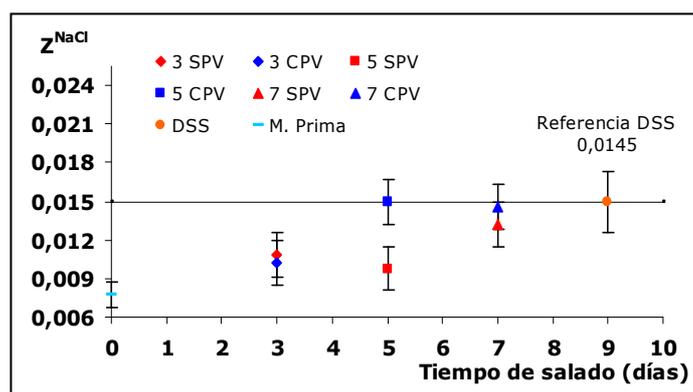


Figura 56. Concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}), para la zona C, en los pernils salados en salmuera con saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

Tabla 22. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (Z^{NaCl}), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona C.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0377
B Tipo de proceso	0,0478
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,0666

5. Resultados y discusión

d. Determinación de la actividad de agua (a_w).

Dado que en la fase I se realizó el estudio de los valores de a_w tanto en las zonas externas como para las internas (figura 23) y que para estas últimas los valores obtenidos fueron los de la materia prima, se optó en el siguiente punto del estudio realizar este análisis sólo sobre la zona externa A en la que los fenómenos difusivos son más intensos.

Así el análisis estadístico mostró como solo el factor tiempo de salado fue estadísticamente significativo ($p < 0,05$) (tabla 23).

Tabla 23. Influencia del tiempo de salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (a_w), y la interacción (AB) entre ambos factores para la zona A.

Variables	P-Value
A Tiempo de salado	0,0003
B Tipo de proceso	0,6356
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,3434

Como se puede apreciar en la figura 57, el valor de la actividad del agua disminuyó considerablemente en la zona A al ser sometidos los perniles a la etapa de salado, pasando de $0,988 \pm 0,004$ (materia prima) a valores de $0,890 \pm 0,005$ para los jamones salados sin pulso de vacío y $0,909 \pm 0,006$ para los salados con pulso de vacío al cabo de 7 días de salado. Además cuando los valores de a_w de los jamones salados con salmuera fueron comparados con los de los jamones DSS, el valor de estos últimos (0,940) fue alcanzado en apenas 3 días de salado para ambos tipos de proceso, lo cual podría reafirmar como la velocidad de los procesos difusivos aumentó con el empleo de la salmuera.

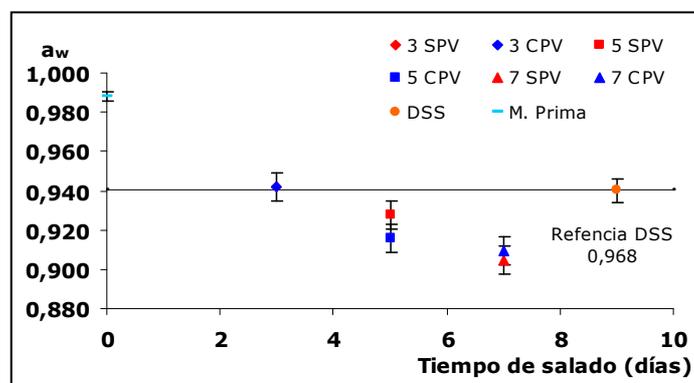


Figura 57. Actividad de agua (a_w), para la zona A, en los perfiles salados en salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío.

Así pues y en base a los resultados obtenidos en el presente estudio se podría concluir que el tiempo de salado a emplear mediante la técnica de salado/descongelado simultáneo en salmuera es de 3 días cuando se utiliza un pulso de vacío, una vez los perfiles están descongelados, y de 5 días cuando no se aplica éste. Pero dado que existen diferencias sobre todo en la variación de masa, es necesario realizar una caracterización de las siguientes etapas del proceso de elaboración, post-salado y curado, con la finalidad de evaluar la incidencia de esta tecnología de salado sobre éste.

5.2.2. Caracterización de la etapa de post-salado de jamones salados en salmuera saturada, con y sin aplicación de vacío.

Una vez determinado el tiempo óptimo para el salado en salmuera, mediante los dos tratamientos, con y sin aplicación de pulso de vacío, se procedió a realizar el salado de los jamones mediante esta técnica, evaluando la influencia de la técnica de salado/descongelado en salmuera sobre la etapa de post-salado. Para ello se realizó el análisis de los diferentes parámetros fisicoquímicos (X^{NaCl} b.s.; X^{W} b.s.; Z^{NaCl} ; a_w) a diferentes tiempos de la etapa.

5.2.2.1. Caracterización físico-química del pernil

a. Determinación de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.).

El requisito indispensable en la elección de los tiempos de salado en los jamones SPV y CPV, como se mencionó con anterioridad, fue que la razón másica de sal en el jamón fuera igual o superior a la obtenida en los jamones descongelados salados con la metodología tradicional (jamones DSS). Una vez tomada la decisión de procesar los jamones salados a presión atmosférica durante 5 días y los salados con la aplicación de un pulso de vacío (3 horas) durante 3 días y previo al estudio del post-salado, se comprobó que los jamones salados mediante este método, cumplían el criterio fijado con anterioridad (figura 14). Así la concentración de sal en base seca exenta de grasa y sal, en los jamones en los que se aplicó vacío fue de $0,101 \pm 0,011$ y en los salados sin pulso de vacío fue de $0,105 \pm 0,01$, frente a un valor objetivo de 0.106 ± 0.02 obtenido en los jamones salados de forma tradicional (DSS) (figura 58).

Aunque el valor de la razón másica de sal en base seca, fue ligeramente inferior para los jamones salados durante 3 días con la aplicación de pulso de vacío, como se puede observar, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Así y dado que la cantidad de sal de los jamones fue la deseada, se procedió al análisis de la etapa de post-salado.

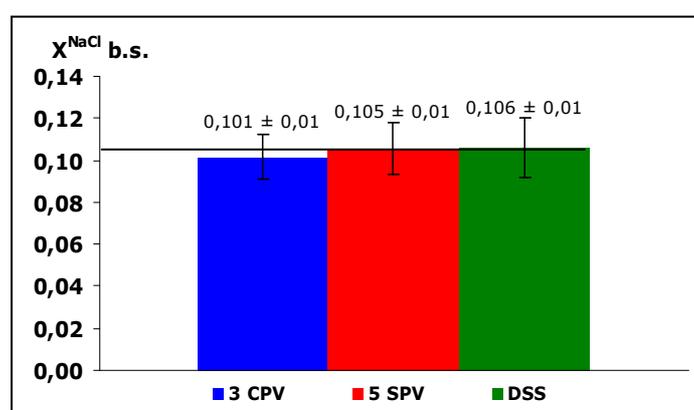


Figura 58. Razón másica de sal (X^{NaCl} bs), obtenido para jamones CPV y SPV, empleados en el estudio de la etapa de post-salado.

b. Determinación de la variación de masa (ΔM_t^0)

Como consecuencia del proceso de transferencia de materia generado durante la etapa de post-salado, se produjo una pérdida de agua (merma) en ambos tipos de proceso (5 SPV y 3 CPV) a lo largo del tiempo (figura 69). A los primeros 45 días de post-salado, la variación de masa fue similar en los jamones salados con ambos tipos de proceso, aunque es a partir de ese momento cuando el tiempo de post-salado resultó ser un factor significativo ($p < 0,05$), así como el tipo de proceso utilizado en el salado (tabla 24). Lo mismo ocurrió con la interacción entre ambos factores (tiempo de post-salado y tipo de proceso de salado). Este comportamiento tan heterogéneo entre los 45 y 80 días de post-salado fue generado por una posible

5. Resultados y discusión

alteración en la cámara frigorífica, la cual no fue registrada. Esta alteración también sería la que generó el ligero incremento de peso observado por los jamones 3 CPV durante los 45 y 65 días.

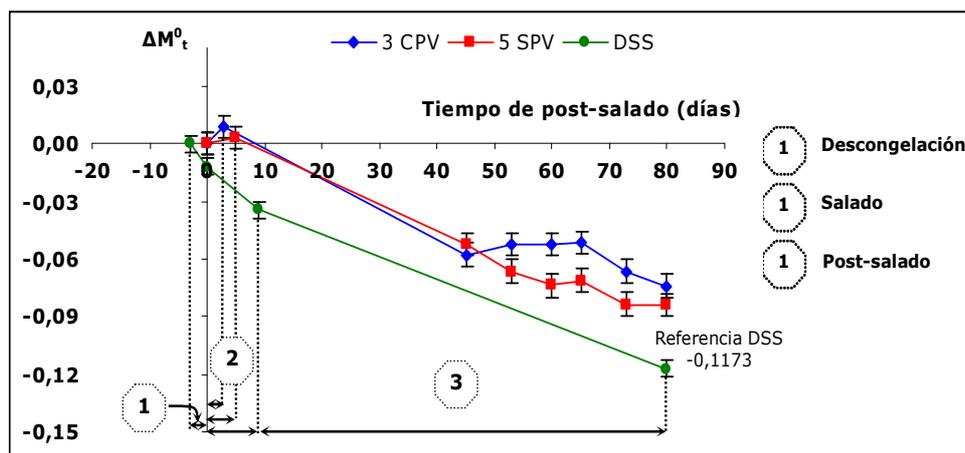


Figura 59. Variación de masa total durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera (3 CPV, 5 SPV) y jamones DSS.

Tabla 24. Influencia del tiempo de post-salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (ΔM_t) y la interacción (AB) entre ambos factores para los jamones 5 SPV y 3 CPV, durante la etapa de post-salado.

Variables	P-Value
A Tiempo de post-salado	0,0000
B Tipo de proceso	0,0000
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,0422

Al final de la etapa de post-salado (80 días), las diferencias entre ambos procesos (con y sin aplicación de pulso de vacío), desaparecieron (figura 59), alcanzando una merma cercana al 8%. Los jamones salados de forma tradicional (DSS) presentaron una variación de masa media durante el post-salado similar a la sufrida por los jamones salados con salmuera saturada (figura 60), aunque la merma final acumulada obtenida fue mayor como resultado de la deshidratación generada durante el salado con sal sólida (figura 59),

deshidratación que no se presentó en los jamones sometidos al proceso de salado en salmuera.

Como se aprecia en la figura 60, la variación de masa durante el post-salado fue similar en todos los jamones, independientemente del tipo de salado realizado (con salmuera o sal sólida). Este resultado mostraría que la pérdida de agua durante esta etapa de post-salado no es influenciada por el uso del salado en salmuera.

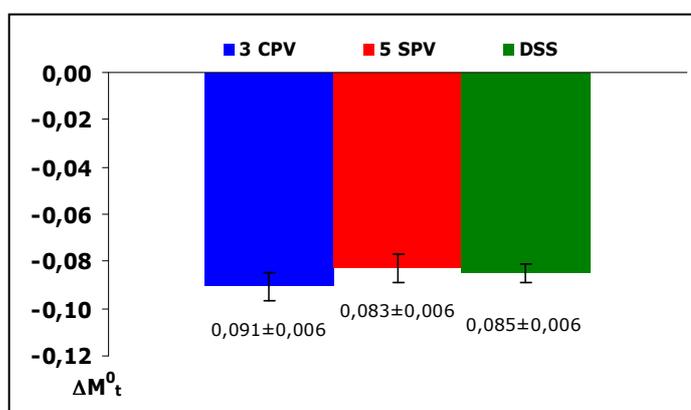


Figura 60. Variación de masa durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera 3 CPV, 5 SPV y DSS

c. Determinación de la razón másica de agua (X^w b.s.).

La razón másica de agua (X^w b.s.) durante el post-salado, como se observa en la figura 61, fue disminuyendo su valor a partir de los 45 días de esta etapa, siendo significativa (tabla 25), aunque a partir de los 45 días de post-salado esta pérdida de agua fue muy leve.

Por otro lado, tanto el tipo de materia prima como la interacción entre ésta y el tiempo de salado, no mostraron diferencias

5. Resultados y discusión

significativas (tabla 25). Así pues la pérdida de agua tanto para los jamones 3 CPV, como para los 5 SPV, se produjo de forma similar.

Tabla 25. Influencia del tiempo de post-salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (x^w b.s.) y la interacción (AB) entre ambos factores para los jamones 5 SPV y 3 CPV, durante la etapa de post-salado.

Variables	P-Value
A Tiempo de post-salado	0,0002
B Tipo de proceso	0,4149
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,9881

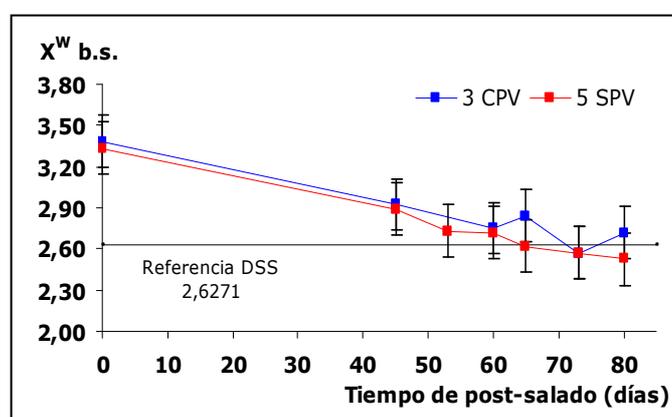


Figura 61. Evolución de la razón másica de agua (x^w b.s.), durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera 3 CPV y 5 SPV.

Teniendo en cuenta todo el periodo de post-salado, el cual se inició al finalizar la etapa de salado, la fracción másica de agua de los jamones 3 CPV disminuyó en torno a un 7%, y la de los jamones 5 SPV en un 5%, llegando a un valor de x^w b.s. similar al alcanzado en los jamones DSS transcurridos 80 días de post-salado (figura 61). Este resultado, una vez evaluada la variación de masa (figura 59), no pareció lógico, ya que dada la mayor variación de masa al final del post-salado sufrida por los jamones DSS, sería de esperar que la fracción másica de agua también lo fuera, pero como se observa en la figura 61 esto no fue así. La explicación a esto podría ser la misma

que explicó el mismo fenómeno al final del salado, por lo que cabría esperar que esta salmuera retenida entre músculos y causante de la menor variación de masa al final de la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera, fuera fácilmente eliminada durante el secado, y por lo tanto ésta no se prolongase más que el de los jamones DSS.

d. Determinación de la actividad de agua (a_w)

Como resultado del análisis de los valores de actividad de agua en los jamones salados en salmuera saturada, durante la etapa de post-salado (figura 62), se observó como ni el tiempo de post-salado, ni el tipo de proceso de salado utilizado, ni la interacción entre ambos factores resultaron ser significativos ($p > 0,05$) (tabla 26), siendo los valores obtenidos al final del post-salado, prácticamente iguales a los obtenidos al inicio de éste. Este resultado fue contradictorio, dado que como consecuencia de la deshidratación sufrida durante el post-salado, los valores de actividad de agua deberían haber disminuido.

Tabla 26 Influencia del tiempo de post-salado (A) y el tipo de proceso (B) sobre el parámetro (a_w) y la interacción (AB) entre ambos factores para los jamones 5 SPV y 3 CPV, durante la etapa de post-salado

Variables	P-Value
A Tiempo de post-salado	0,7395
B Tipo de proceso	0,1235
A*B (Tiempo x Tipo de salado)	0,5682

Al comparar el valor de la actividad de agua de los jamones salados en salmuera saturada con el de jamones DSS, transcurridos 80 días de post-salado, estos últimos presentaron un valor ligeramente inferior ($a_w = 0,953 \pm 006$) (figura 62). Este resultado estaría en concordancia con los obtenidos para la variación de masa

5. Resultados y discusión

total (figura 59), en el que los jamones control (DSS) tuvieron una mayor pérdida de peso que los salados en salmuera. En cambio estuvieron en contra de los obtenidos para la concentración salina (figura 58) y de agua (figura 61), en los que se alcanzan iguales valores.

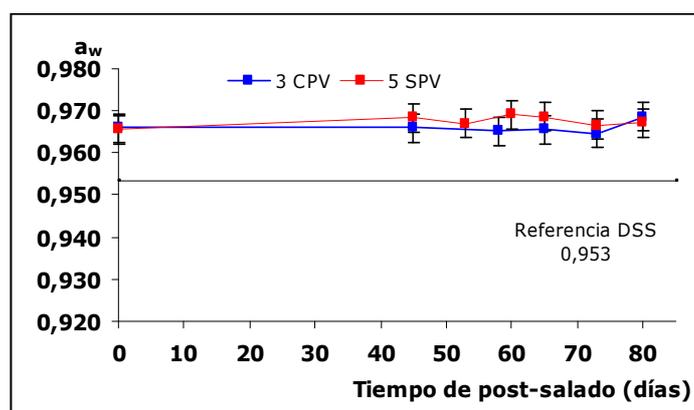


Figura 62. Evolución de la actividad de agua (a_w), durante la etapa de post-salado de los jamones salados en salmuera 3 CPV, 5 SPV.

5.2.2.2. Caracterización físico-química de las diferentes zonas de los perniles 3CPV y 5 SPV, durante la etapa de post-salado.

Dado que para el análisis de la etapa de post-salado, se tuvieron en cuenta 5 zonas diferentes y 7 diferentes tiempos de post-salado, se vio la necesidad de ordenar los resultados en base al tipo de salado realizado, evitando así generar figuras muy complejas y difíciles de interpretar. Así los resultados para cada parámetro evaluado (Z^{NaCl} ; X^W b.s.; a_w), se muestran en figuras diferentes para cada tipo de salado, ya sea para los salados durante 3 días con la aplicación de pulso de vacío (3 CPV) o sin la aplicación de éste, salados durante 5 días (5 SPV). Además al inicio del post-salado sólo se realizó el estudio para las zonas A, B y C, al suponer que los fenómenos difusivos en este punto del proceso de elaboración eran

menores que los que tendrían lugar a partir de los 45 días y hasta el final del post-salado, en los que se analizaron las zonas A, A', B, B' y C.

a. Determinación de la concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}).

Jamones 5 SPV.

La concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) de la zona A al inicio de la etapa de post-salado para los jamones 5 SPV, fue de $0,087 \pm 0,006$ (figura 63), la cual disminuyó durante los primeros 45 días de post-salado hasta alcanzar un valor de $0,055 \pm 0,001$. Durante los posteriores días de post-salado, dicho valor disminuyó, aunque con menor intensidad, haciéndose la diferencia significativa a los 80 días respecto al día 45. Al final de estos 80 días se alcanzó un valor de Z^{NaCl} de $0,048 \pm 0,002$. Esta evolución reflejó la disminución de la cantidad de sal en la parte periférica del jamón, debido a su difusión hacia las zonas más internas (B, B' y C).

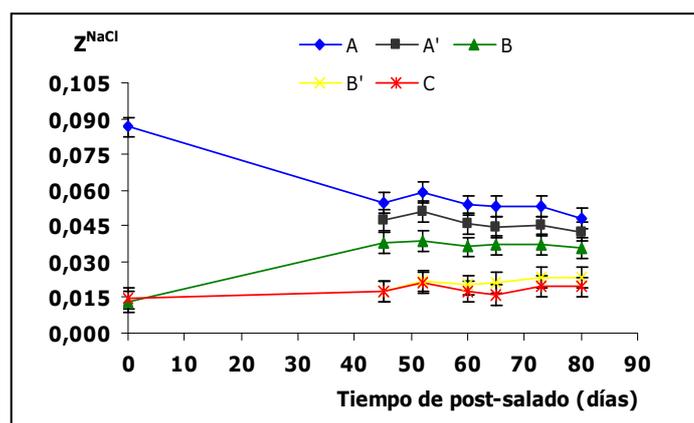


Figura 63. Evolución de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) en las zonas de estudio, durante el post-salado para los jamones 5 SPV.

5. Resultados y discusión

La zona A' presentó el mismo comportamiento a lo largo de la etapa de post-salado comprendida entre 45 y 80 días, no existiendo diferencias significativas durante este tiempo.

Además, desde los 45 días hasta los 80 días, a pesar de ser superior el valor de Z^{NaCl} en la zona A, la diferencia nunca llegó a ser significativa respecto al valor de la zona A'.

La concentración de sal en la fase líquida de la zona B al inicio de la etapa de post-salado alcanzó un valor de $0,013 \pm 0,002$ (figura 63), cifra que se vio incrementada durante los primeros 45 días de post-salado hasta llegar a un valor de $0,038 \pm 0,0004$, el cual se mantuvo más o menos constante durante los posteriores días de post-salado (figura 63). Los valores de Z^{NaCl} de esta zona fueron significativamente diferentes respecto al resto de zonas desde los 45 hasta los 80 días de post-salado, inferiores a los de A y A', y superiores a los de B' y C (figura 63).

Las zonas B' y C al principio del post-salado prácticamente presentaron el mismo valor de Z^{NaCl} (figura 63), el cual fue muy similar al valor presentado por la materia prima. El valor de dicha variable se vio incrementado durante los primeros 45 días del post-salado alcanzando un valor de $0.017 \pm 0,001$ para ambas zonas (figura 63). A partir de los 45 días de post-salado el valor de la variable continuó incrementándose hasta alcanzar los 80 días de post-salado, siendo este incremento superior en la zona B' que en la C, aunque en ningún momento llegó a ser significativa la diferencia. Este mayor incremento de la fracción másica de sal en la fase líquida de la zona B' comparado con la zona C, puso de manifiesto que la difusión salina a través de la grasa subcutánea durante la anterior

etapa de salado fue insignificante (Wood, 1966; Gou *et Al.*, 2000), y que la ganancia de sal en las diferentes zonas internas del jamón durante el post-salado es debida a la difusión de sal desde la zona A.

Cabe destacar que a los 45 días de post-salado aparecieron diferencias significativas respecto al valor de Z^{NaCl} entre todas las zonas del jamón, exceptuando las zonas B' y C (figura 63), pero que al final del post-salado (80 días) estas diferencias fueron mucho menores.

Jamones 3 CPV.

Los jamones sometidos a 3 días de salado con aplicación de un pulso de vacío (3 CPV) presentaron una evolución de la fracción másica de sal en la fase líquida de las diferentes zonas del jamón similar a la sufrida por los jamones 5 SPV.

El valor de Z^{NaCl} de A disminuyó durante los primeros 45 días de post-salado pasando de $0,069 \pm 0,004$ a un valor de $0,048 \pm 0,006$ (figura 64). El valor de dicha variable también disminuyó en los posteriores días de post-salado, haciéndose la diferencia significativa respecto a los 45 días de post-salado a partir de los 73 días (figura 64). En la zona A', donde el valor de la fracción másica de sal en la fase fluida se comportó de forma similar a lo sucedido en la zona A, no existieron diferencias significativas entre los 45 y 80 días de post-salado.

En la zona B la cantidad de sal en la fase líquida aumentó desde el principio de la etapa de post-salado, pasando de $0,014 \pm 0,002$ a $0,029 \pm 0,003$ durante los primeros 45 días (figura 64). Durante el posterior tiempo de post-salado, aunque los valores aumentaron

5. Resultados y discusión

ligeramente, éstos no fueron significativamente diferentes. Al comparar los valores de la zona B con las zonas A y A' se vio como éstos fueron significativamente inferiores, al igual que ocurrió con los jamones 5 SPV (figura 64).

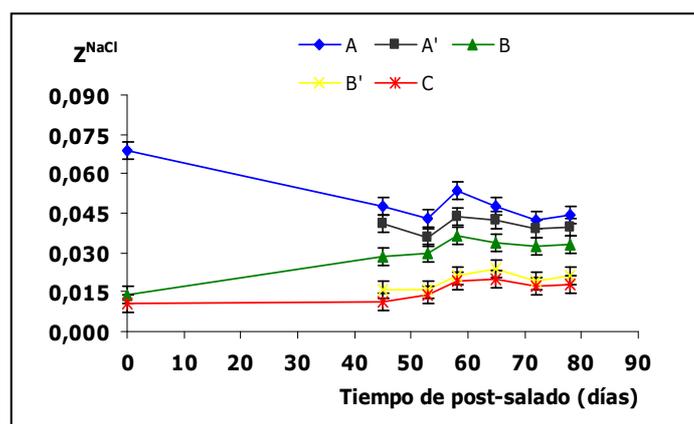


Figura 64. Evolución de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) en las zonas de estudio, durante el post-salado para los jamones 3 CPV.

Las zonas B' y C, al inicio de la etapa de post-salado, presentaron valores de la concentración de sal en fase líquida mucho menores a los del resto de zonas (en el caso de la zona C fue de $0.01 \pm 0,001$). Las dos zonas sufrieron un incremento del valor de Z^{NaCl} transcurridos los primeros 45 días de post-salado, no siendo significativa la diferencia entre ambas (figura 67). Este incremento continuó produciéndose en las dos zonas durante los posteriores días de post-salado respecto al valor inicial, haciéndose significativa la diferencia a partir de los 65 días de post-salado, aunque siguieron sin apreciarse diferencias significativas entre ambas zonas.

Cabe destacar que los mayores valores de la concentración de sal en la fase líquida de las diferentes zonas de los jamones 5 SPV con respecto a la de los jamones 3 CPV, al final de la etapa de post-

salado (figura 65), fue debida a la mayor concentración salina de estos al final del salado (figura 58).

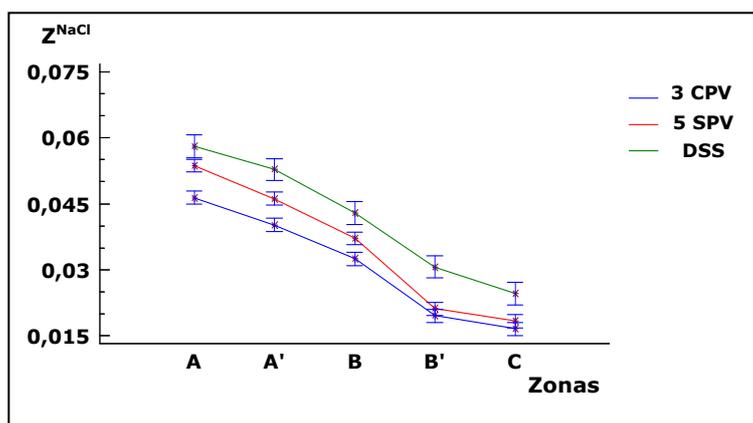


Figura 65. Concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}), al final del post-salado, para los dos tipos de tratamiento (3 CPV y 5 SPV), y los jamones DSS, en las zonas de estudio.

Comparando el valor de la variable Z^{NaCl} de jamones descongelados salados según el proceso tradicional (jamones DSS), en todas las zonas analizadas del jamón, transcurridos 80 días de post-salado, éste fue superior al de las mismas zonas de los jamones salados con salmuera saturada, con y sin aplicación del pulso de vacío, como consecuencia de su mayor concentración salina, ligeramente superior, al final del salado (figura 58) y a la mayor merma al final del post-salado (figura 59).

b. Determinación de la razón másica de agua (X^W b.s.).

Durante la etapa de post-salado el agua fluye en sentido inverso al de la sal, evolucionando desde las zonas más internas del jamón hacia las más externas y evaporándose en la superficie del mismo. Es por ello que durante esta etapa la disminución de la humedad del jamón no será debida al efecto osmótico producido por la sal que

5. Resultados y discusión

cubre su superficie, como ocurría en la etapa de salado, sino que se deberá a un secado convectivo (Boadas *et al.* 2001).

Jamones 5 SPV

En los jamones salados durante 5 días en salmuera saturada a presión atmosférica (5 SPV), la zona A fue la que menor razón másica de agua presentó durante la etapa de post-salado (figura 66), debido fundamentalmente a la deshidratación osmótica sufrida durante la etapa de salado y la deshidratación como consecuencia del secado por aire sufrido durante el post-salado, dado que es la zona mas expuesta del jamón. Al inicio de la etapa de post-salado la razón másica de agua de esta zona fue $2,71 \pm 0,11$ (figura 66), valor que disminuyó durante los primeros 45 días de post-salado hasta alcanzar un valor de $1,99 \pm 0,15$. Durante los sucesivos días de post-salado los valores siguieron disminuyendo, haciéndose la diferencia significativa a partir de los 73 días respecto al día 45, presentando un valor al final del post-salado de $1,65 \pm 0,28$ (figura 66).

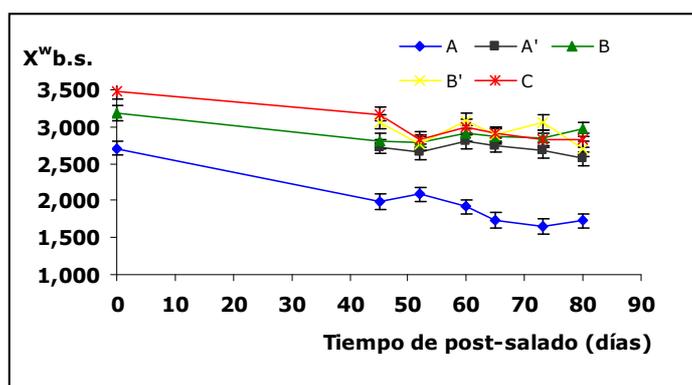


Figura 66. Evolución de la razón másica de agua (X^W b.s.) en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 5 SPV.

El resto de zonas al comienzo de la etapa de post-salado tuvieron valores de X^w b.s. similares a los presentes en la materia prima (X^w b.s._B = $3,19 \pm 0,17$; X^w b.s._C = $3,474 \pm 0,28$). Durante los primeros 45 días de post-salado los valores de la razón másica de agua de estas zonas disminuyó, alcanzando valores de $2,81 \pm 0,06$ para la zona B y de $3,17 \pm 0,07$ para la zona C (figura 66). Sin embargo, a partir de los 45 días y hasta el final del post-salado éstos ya no sufrieron estadísticamente variación (figura 66).

Jamones 3 CPV.

En los jamones salados durante 3 días en salmuera saturada con aplicación de un pulso de vacío (3 CPV) la razón másica de agua (X^w b.s.) en las diferentes zonas del jamón fue similar al sufrido por los jamones 5 SPV, aunque la zona A, al inicio del post-salado, tuvo un valor de $3,09 \pm 0,19$ (figura 67), superior al presente en la misma zona de los jamones 5 SPV.

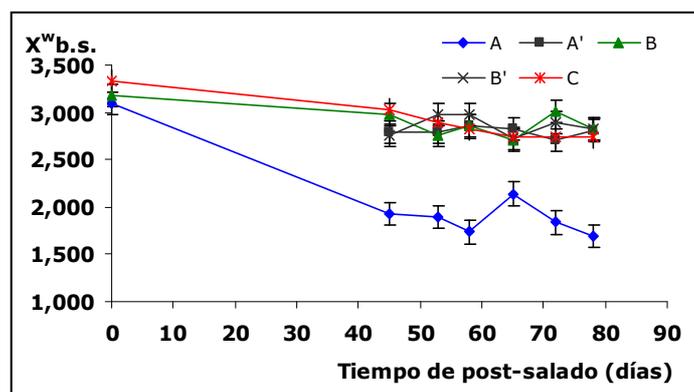


Figura 67. Evolución de la razón másica de agua (X^w b.s.) en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 3 CPV.

Durante los primeros 45 días de post-salado la razón másica de agua en la zona A para los jamones 3 CPV disminuyó, alcanzando un

5. Resultados y discusión

valor de $1,93 \pm 0,12$. A partir de estos 45 días el valor de la variable presento fluctuaciones, siendo la resultante final constante.

Las zonas B y C presentaron, al inicio de la etapa de post-salado, valores de X^W b.s. muy similares a los aparecidos en los jamones 5 SPV (figura 66), los cuales disminuyeron durante los primeros 45 días de post-salado hasta alcanzar unos valores de $2,97 \pm 0,07$ y $3,03 \pm 0,11$ respectivamente.

A los 45 días de post-salado las zonas B' y C (figura 70) presentaron valores que fueron prácticamente idénticos para ambas y significativamente menores a los de las zonas A' y B, manteniéndose prácticamente constantes hasta los 80 días de post-salado.

Cuando se comparan los valores promedio de X^W b.s. entre las mismas zonas de ambos tipos de salado (5 SPV y 3 CPV), en el periodo de post-salado comprendido entre los 45 y 80 días, no existieron diferencias significativas entre ellos.

Todas las zonas estudiadas, para ambos tipos de salado, en general no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,005$) en los valores de la humedad en base seca exenta de grasa (X^W b.s.), comparado con los jamones DSS una vez transcurridos los 80 días de post-salado (figura 68). Este resultado esta en concordancia con lo observado en la figura 61, donde se pudo apreciar que los jamones salados en salmuera 3CPV y 5 SPV, alcanzaron al final del post-salado los mismos valores para X^W b.s. que los jamones salados en sal sólida DSS, para la totalidad del magro del jamón (**R**).

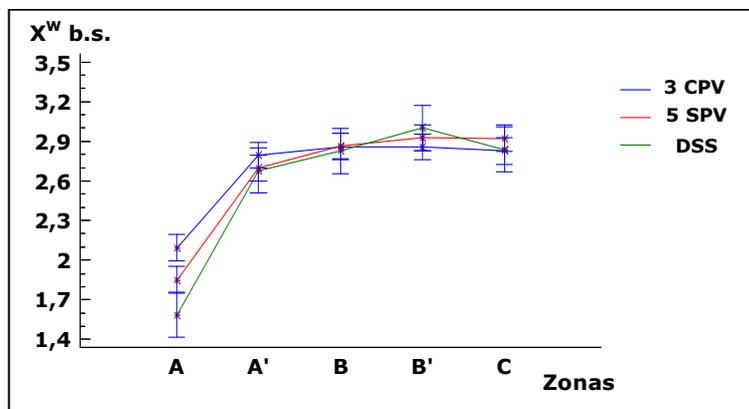


Figura 68. Razón másica de agua (X^W b.s.), al final del post-salado, para los dos tipos de tratamiento (3 CPV y 5 SPV), y los jamones DSS, en las zonas de estudio.

c. Determinación de la actividad de agua (a_w).

Jamones 5 SPV.

La zona A de los jamones 5 SPV presentó un incremento en los valores de actividad de agua, desde el comienzo de la etapa de post-salado ($a_w = 0,927 \pm 0,003$) hasta alcanzar un valor de $0,952 \pm 0,004$ a los 45 días (figura 69). Dicho valor aumentó a lo largo de los sucesivos días de post-salado, aunque de forma no significativa. Durante todos los días de toma de muestra, los valores de actividad de agua de esta zona siempre fueron significativamente menores al del resto de zonas.

Las zonas A' y B a partir de los 45 días de post-salado presentaron idéntico comportamiento respecto al valor de la actividad del agua observado en la zona A (figura 69). El valor de a_w se mantuvo diferente ($p < 0,05$) entre ambas zonas durante este periodo de post-salado, siendo menor en A' que en B (figura 69).

5. Resultados y discusión

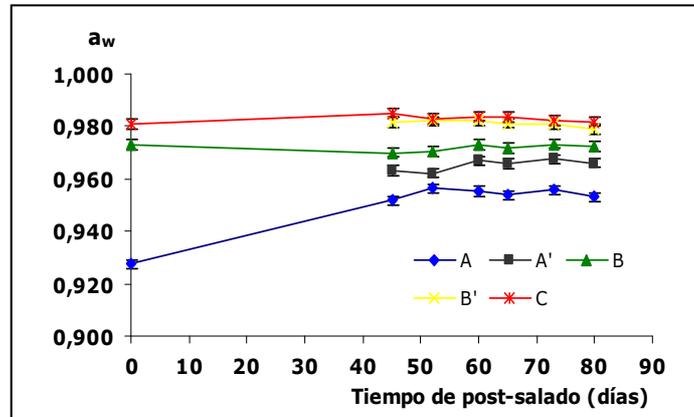


Figura 69. Evolución de la actividad de agua (a_w), en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 5 SPV.

Las zonas B' y C, transcurridos 45 días de post-salado, presentaron valores de actividad de agua muy próximos entre si, y a la vez significativamente superiores al del resto de zonas del jamón. Dicho valor disminuyó durante los sucesivos días de post-salado en ambas zonas, aunque no de forma significativa (figura 69). Además se mantuvieron significativamente diferentes a la actividad de agua de las demás zonas.

Jamones 3 CPV.

El comportamiento experimentado en los jamones 3 CPV fue similar al observado en los jamones 5 SPV. La zona A al inicio de la etapa de post-salado tuvo un valor de a_w de $0,942 \pm 0,007$, superior a la de los jamones 5 SPV (figura 69), como consecuencia de su menor concentración salina (figura 65). Este valor fue aumentando paulatinamente durante todo el post-salado, llegando al final de los 80 días a un valor de $0,953 \pm 0,002$ (figura 70).

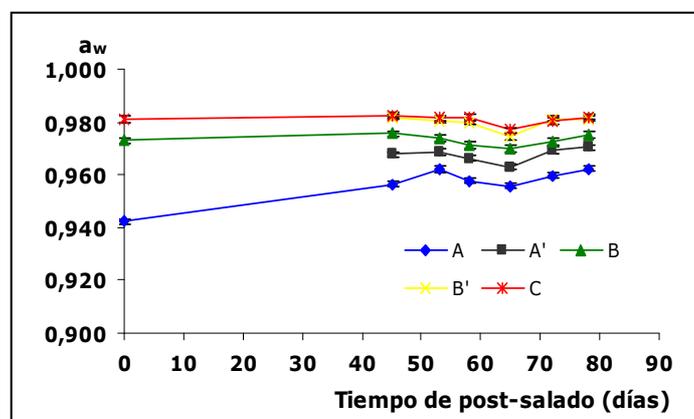


Figura 70. Evolución de la actividad de agua (a_w), en las zonas de estudio, durante el periodo de post-salado para los jamones 3 CPV.

Debido a la menor cantidad de sal al comienzo de la etapa de post-salado en la zona A de los jamones 3 CPV, esta difundió en menor medida hacia el resto de la masa del jamón. Así transcurridos 80 días de post-salado, el valor de la actividad de agua de la zona A' aumentó de forma no significativa respecto al día 45, el de la zona B permaneció estable, y en las zonas B' y C disminuyó de forma no significativa (figura 70).

Los valores de actividad de agua de los jamones salados con salmuera saturada transcurridos 80 días de post-salado, fueron mayores (figura 71) que los de los jamones DSS, como consecuencia de su menor concentración salina (figura 65). Es por ello que hubiera sido interesante en esta etapa el haber disminuido la humedad relativa del proceso de secado, a fin de reducir la actividad de agua, o bien el aumentar los días de duración de la etapa, a fin de dar más tiempo a que la sal difundiera hacia las zonas mas internas y a la vez el agua hacia las más externas.

5. Resultados y discusión

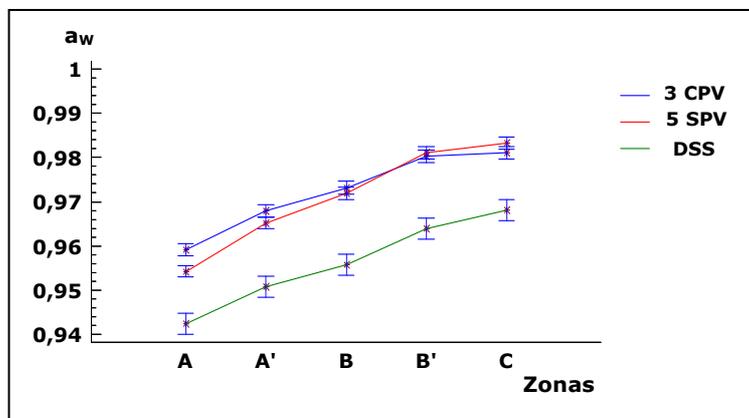


Figura 71. Actividad de agua (a_w), al final del post-salado, para los dos tipos de tratamiento (3 CPV y 5 SPV), y los jamones DSS, en las zonas de estudio

5.2.3. Estudio de la influencia del proceso de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, sobre el producto final.

Para el estudio de la última etapa de procesado (secado-madurado), los jamones permanecieron en las instalaciones de la empresa colaboradora durante el tiempo necesario para alcanzar la misma merma acumulada ($\approx 30\%$). Durante todo este tiempo los jamones permanecieron bajo las condiciones propias de la empresa, siendo comunes para cada uno de los tratamientos estudiados.

5.2.3.1. Caracterización físico-química del jamón

En la figura 72 se puede observar la variación de masa, durante todo el proceso de elaboración, de los jamones elaborados con el empleo del proceso de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, con y sin aplicación de pulso de vacío (3 CPV y 5 SPV, respectivamente) comparados con los elaborados mediante el proceso tradicional DSS (salado por apilado en sal sólida).

Como puede observarse, durante todo el proceso de elaboración no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los jamones salados con y sin aplicación de pulso de vacío, aunque los jamones 3 CPV tuvieron una deshidratación ligeramente superior. Cuando los resultados se compararon con los obtenidos para los jamones salados de forma tradicional (DSS), las únicas diferencias estadísticas se observaron durante la etapa de salado, como ya se menciono en el apartado 5.2.1.2.1.

Así al final del proceso la merma acumulada para cada tipo de jamón (tabla 27), no presentó diferencias estadísticas entre ellos. Se

5. Resultados y discusión

podría decir que desde el punto de vista de este parámetro, el uso de la técnica estudiada no influiría sobre el proceso de secado.

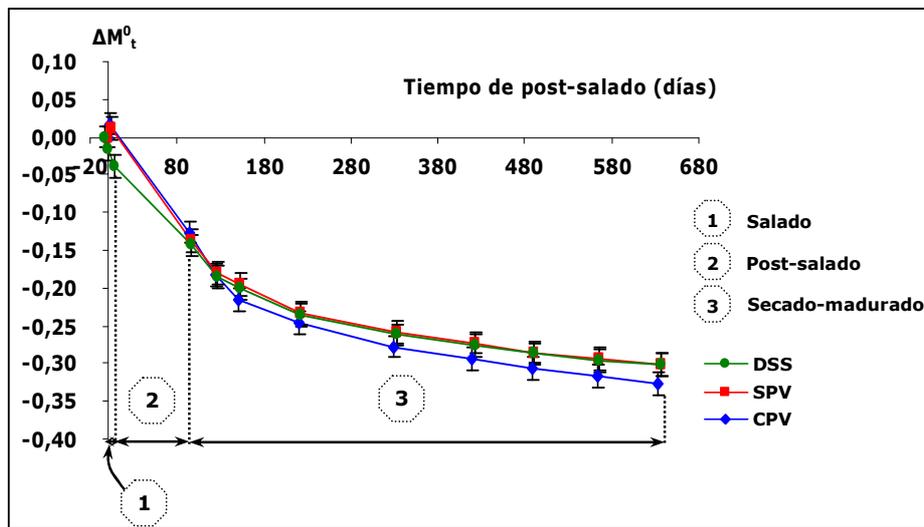


Figura 72. Variaciones de masa para los jamones salados en salmuera 3 CPV y 5 SPV y los jamones DSS, durante el proceso de elaboración.

Los análisis físico-químicos (X^{NaCl} b.s., X^{w} b.s., Z^{NaCl} y a_w) realizados al final del proceso de curado sobre el homogeneizado de la totalidad de la parte magra del jamón (**R**), mostró como no hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), entre los jamones, salados mediante las diferentes técnicas en estudio, para los valores de la razón másica de agua (X^{w} b.s.) y actividad de agua (a_w). En cambio si existieron diferencias significativas para la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) y concentración de sal en la fase líquida (tabla 27).

Como puede observarse (tabla 27) los valores de X^{w} b.s. aunque no tuvieron diferencias significativas, fueron menores para los jamones 3 CPV, lo cual reflejó la mayor deshidratación de éstos durante la etapa de curado como anteriormente se ha comentado (figura 72).

5. Resultados y discusión

Tabla 27. Valores medios de la variación de masa total (ΔM), razón másica de agua (X^w b.s.), concentración de sal en base seca exenta de grasa (X^{NaCl} b.s.), concentración salina en fase líquida (Z^{NaCl}) actividad de agua (a_w) al final del proceso para la totalidad del jamón (R).

Parámetro	3 CPV	5 SPV	DSS	p-value
ΔM^0_{ac}	0,325±0,01	0,301±0,01	0,302±0,01	0,321
X^{NaCl} b.s	0,088±0,005	0,111±0,005	0,106±0,01	0,002
X^w b.s	1,14±0,05	1,20±0,05	1,25±0,05	0,133
Z^{NaCl}	0,072±0,006	0,085±0,006	0,069±0,006	0,043
a_w	0,896±0,009	0,891±0,009	0,898±0,009	0,620

Los valores de concentración salina, X^{NaCl} b.s. y Z^{NaCl} , fueron significativamente mayores para los jamones 5 SPV con respecto a los 3 CPV y DSS (0,106±0,01) los cuales no presentaron diferencia significativas entre ellos. Este comportamiento ya fue observado en el estudio de la etapa de salado por inmersión en salmuera (figura 58), aunque en ese caso los jamones analizados no presentaron diferencias significativas. Es por ello que el tiempo de salado por inmersión en salmuera sin aplicación de pulso de vacío, se podría ajustar más, a fin de reducir ligeramente la concentración de sal.

Por otro lado los valores finales de a_w fueron muy parecidos entre los diferentes procesos 0,893, valores inferiores a 0.91, valor límite que impide el crecimiento de la mayoría de microorganismos patógenos (USDA-FSIS, 2005).

5.2.3.2. Caracterización físico-química de las diferentes zonas del jamón al final del proceso.

Al final de proceso de elaboración no existieron diferencias en los valores de la razón másica de agua (X^w b.s.) entre los diferentes tipos de tratamiento empleados (3 CPV, 5 SPV y DSS), independientemente de las zonas analizadas (figura 73). En cambio

5. Resultados y discusión

se pudo observar como las zonas más externas (D, G y A), fueron las que presentaron un mayor grado de deshidratación, dado que estas zonas fueron las más expuestas al ambiente de la cámara durante el proceso de secado. Así las zonas contiguas a la grasa subcutánea (C, F y E), fueron las que tuvieron valores más altos, ya que por un lado la grasa actuó como barrera a la difusión de agua hacia el exterior del jamón (Gou *et al.*, 2000; 2004) y por el otro lado la mayor distancia a la superficie magra también dificultó su secado. Observando las zonas que describen el perfil transversal del jamón (A, B y C), se puede apreciar con claridad como existió un gradiente positivo de humedad entre la zona más externa "A" y la más interna "C".

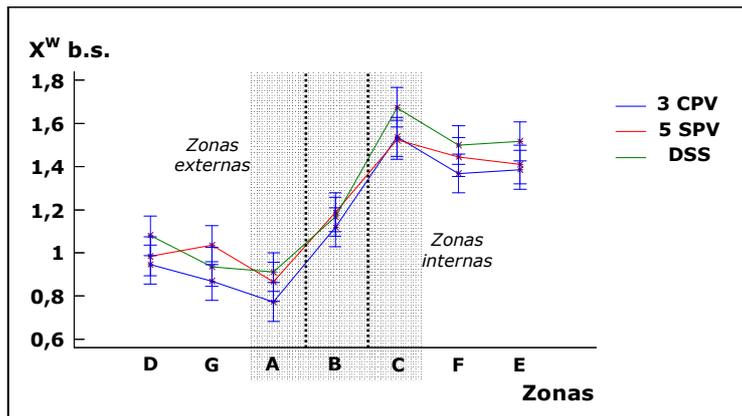


Figura 73. Razón másica de agua (X^W b.s.) en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio.

Los valores de la razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) y de la concentración de sal en la fase líquida (Z^{NaCl}) para todos los tipos de tratamientos realizados, y en las siete zonas analizadas, se muestran en las figuras 74 y 75, respectivamente.

El parámetro razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.) presentó valores similares para los jamones 5 CPV y DSS, siendo para algunas zonas estos valores significativamente inferiores a los observados en los jamones 5 SPV. Este comportamiento quedó evidente en el estudio

de R (tabla 27). La relación entre los valores de las diferentes zonas para un mismo tratamiento mostró como las zonas más externas (D, G y A) tuvieron niveles de sal más bajos que las zonas más internas (C, F y E). Este comportamiento quedó descrito muy bien cuando se observan los valores para las zonas A, B y C.

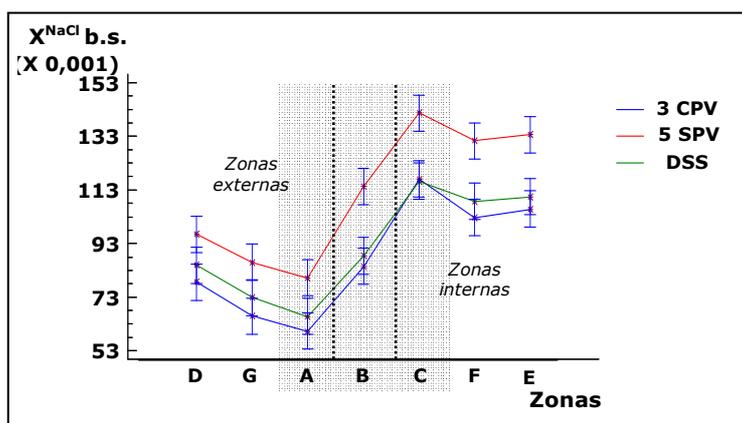


Figura 74. Razón másica de sal (X^{NaCl} b.s.), en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio.

Así las zonas con menos contenido en agua (zonas externas) (figura 73) también fueron las que presentaron menor cantidad de sal (figura 74). Este equilibrio salino en la fase líquida, correlación entre el contenido de agua y el contenido de sal, se puede observar en la figura 75, en la que las diferentes zonas de los jamones no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre ellas.

El estudio de los valores de actividad de agua de las zonas no evidenció diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de salado (figura 76), aunque si se observaron diferencias ligeramente significativas entre las zonas para cada uno de los tratamientos. Los mayores valores para las zonas más internas (C, F y E) fueron debidos a la mayor humedad presente estas (contiguas a

5. Resultados y discusión

la grasa subcutánea) (figura 73).

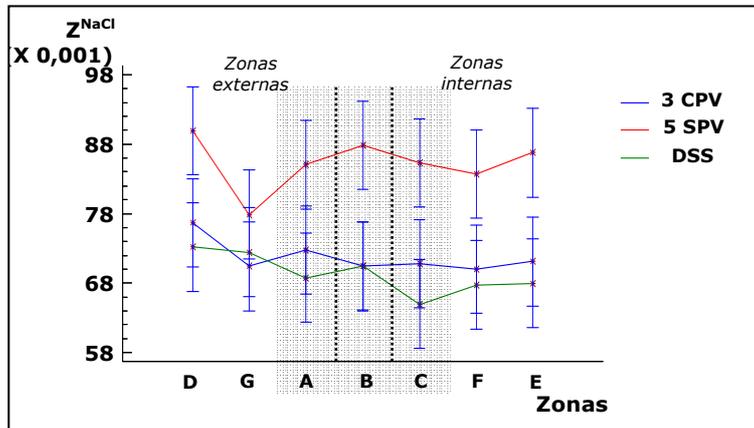


Figura 75. Concentración de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio.

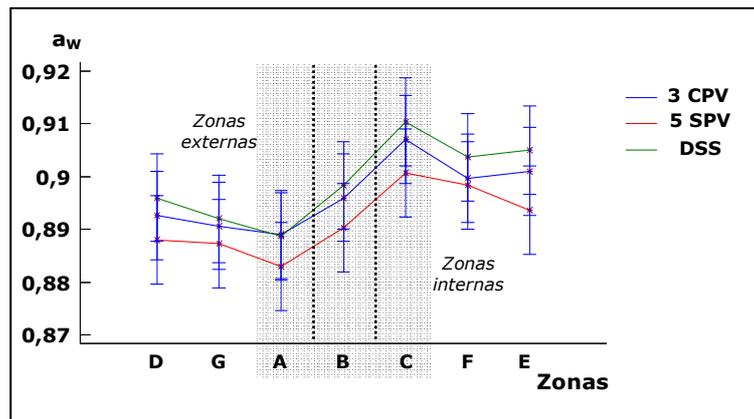


Figura 76. Actividad de agua (a_w), en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS en las zonas de estudio.

Así pues, en base a los resultados observados, se podría decir que las diferencias encontradas entre los jamones salados mediante las técnicas en estudio, no deberían ser atribuibles al empleo de salmuera como agente de salado. Así aunque los jamones 5 SPV tuvieron más sal que los DSS, fue por un tiempo excesivo de salado y no como resultado del uso de salmuera, dado que los 3 CPV (salados también en salmuera), no presentaron ninguna diferencia.

5.2.3.3. Análisis de los parámetros de color en las diferentes zonas del producto final.

Para poder establecer diferencias en el producto final, es muy importante la determinación de parámetros organolépticos, adicionales a los parámetros fisicoquímicos, ya que parámetros como el color y la textura están asociados directamente a la aceptación, o no, del producto. En la figura 77 se muestran los valores para los parámetros de color luminosidad (L^*), rojo-verde (a^*), amarillo-azul (b^*) para cada una de las zonas en estudio.

Como puede observarse en la figura 77, no existieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los jamones elaborados mediante las técnicas de salado evaluadas para cada uno de los parámetros de color evaluados (L , a^* y b^*). En cambio, sí se evidenciaron diferencias entre las zonas para los jamones de un mismo tratamiento, siendo mayores los valores para las zonas más internas. Hay que resaltar que la diferencia encontrada entre estas zonas fue menor que la observada cuando se evaluó la influencia de la materia prima fresca o congelada (figura 38), lo cual mostraría una mayor homogeneidad del perfil transversal de estos jamones. La explicación a esto podría estar en los perfiles de humedad y sal, los cuales presentaron menos diferencias entre zonas para los jamones de este último estudio (figura 73 y 74 respectivamente) que los observados en su momento en el estudio de la influencia de la materia prima (figura 34). Aun así, los valores de los parámetros de color L , a^* y b^* de las zonas que se describen en el perfil transversal del jamon (A, B y C), mostraron un gradiente positivo entre la zona más externa "A" y la más interna "C" (figura 77)

5. Resultados y discusión

La menor luminosidad presentada por las zonas más externas, pudo ser debida a la menor cantidad de agua (figura 73) de estas zonas y la influencia de este factor en la disminución de la reflexión de la luz (Fernández-López et al., 2003), influencia que se hizo evidente en la figura 39.

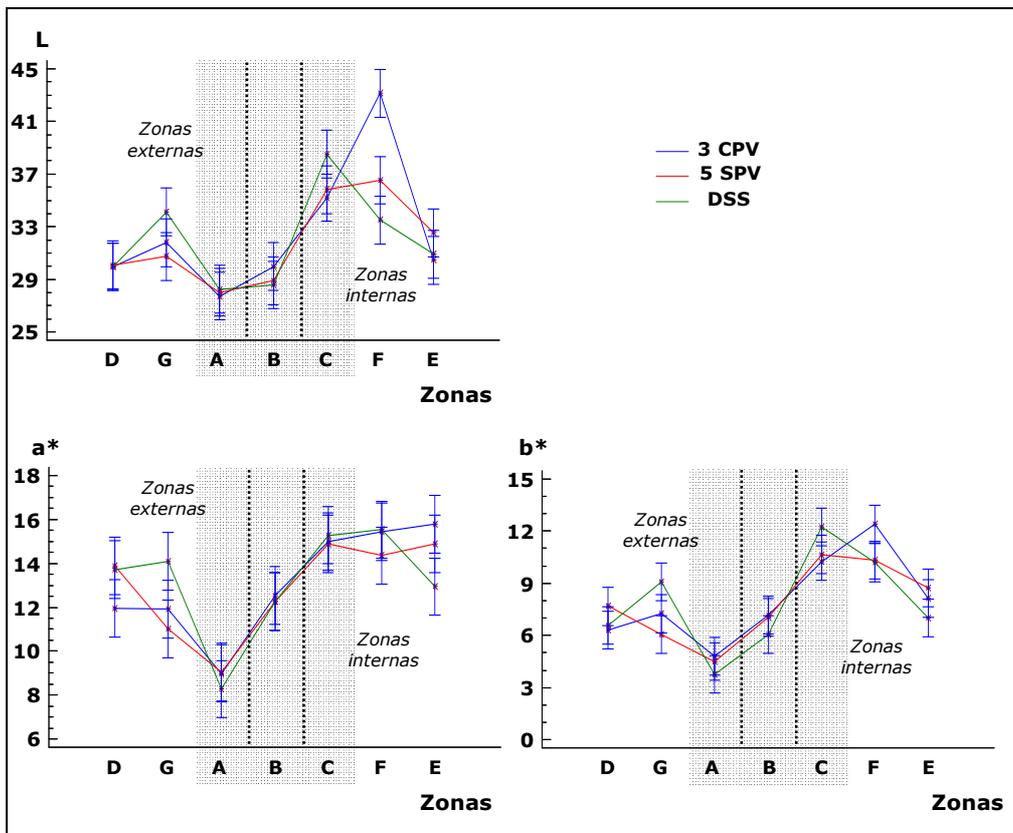


Figura 77. Valores de los diferentes parámetros de color L, a*, b*, en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS.

Los valores promedio para las coordenadas de color a* y b* fueron significativamente diferentes entre los obtenidos para las zonas más externas de los jamones (D, A y G), con menores valores, y a las zonas más internas (C, F y E), con mayores valores. La mayor cantidad de sal de las zonas internas pudo incrementar la formación

de nitrosomioglobina (García-Esteban *et al.*, 2003), pigmento característico de los productos curados (Judge *et al.*, 1989; Pérez Alvarez *et al.*, 1999; Fernández-López *et al.*, 2004), incrementando por tanto los valores de a^* y b^* .

En base a estos resultados se podría decir que el empleo de la técnica de salado/descongelado simultaneo por inmersión en salmuera saturada no influye sobre el color de los jamones al final de su proceso de elaboración.

5.2.3.4. Análisis de los parámetros de textura en las diferentes zonas del producto final.

En la figura 78 se muestran los diferentes parámetros de textura obtenidos mediante el análisis del perfil de textura (TPA), Dureza, Adhesividad, Cohesividad, Masticabilidad y Elasticidad.

Como se puede observar en la figura 78, no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tres tipos de tratamientos estudiados, presentándose valores muy similares para todos los parámetros en la mayoría de las zonas estudiadas.

En el análisis de la dureza, las zonas externas (D, G y A), tal y como se observa en la figura 78, fueron las que presentaron valores más altos. Durante las primeras etapas del proceso de elaboración, estas zonas presentaron valores salinos elevados y dado el efecto inhibidor de la sal sobre las calpainas (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2005), éstas vieron frenada su acción sobre la matriz proteica, manteniéndose integra por tanto la estructura de estas zonas. Además, como se observa en la figura 73, los menores valores de humedad de estas zonas acentuarían dicho efecto, tal y como se

5. Resultados y discusión

mostró en el estudio de las influencia de la materia prima al final del proceso de elaboración (apartado 5.1.3.), en el que se evidenció la relación exponencial existente entre la humedad y la dureza.

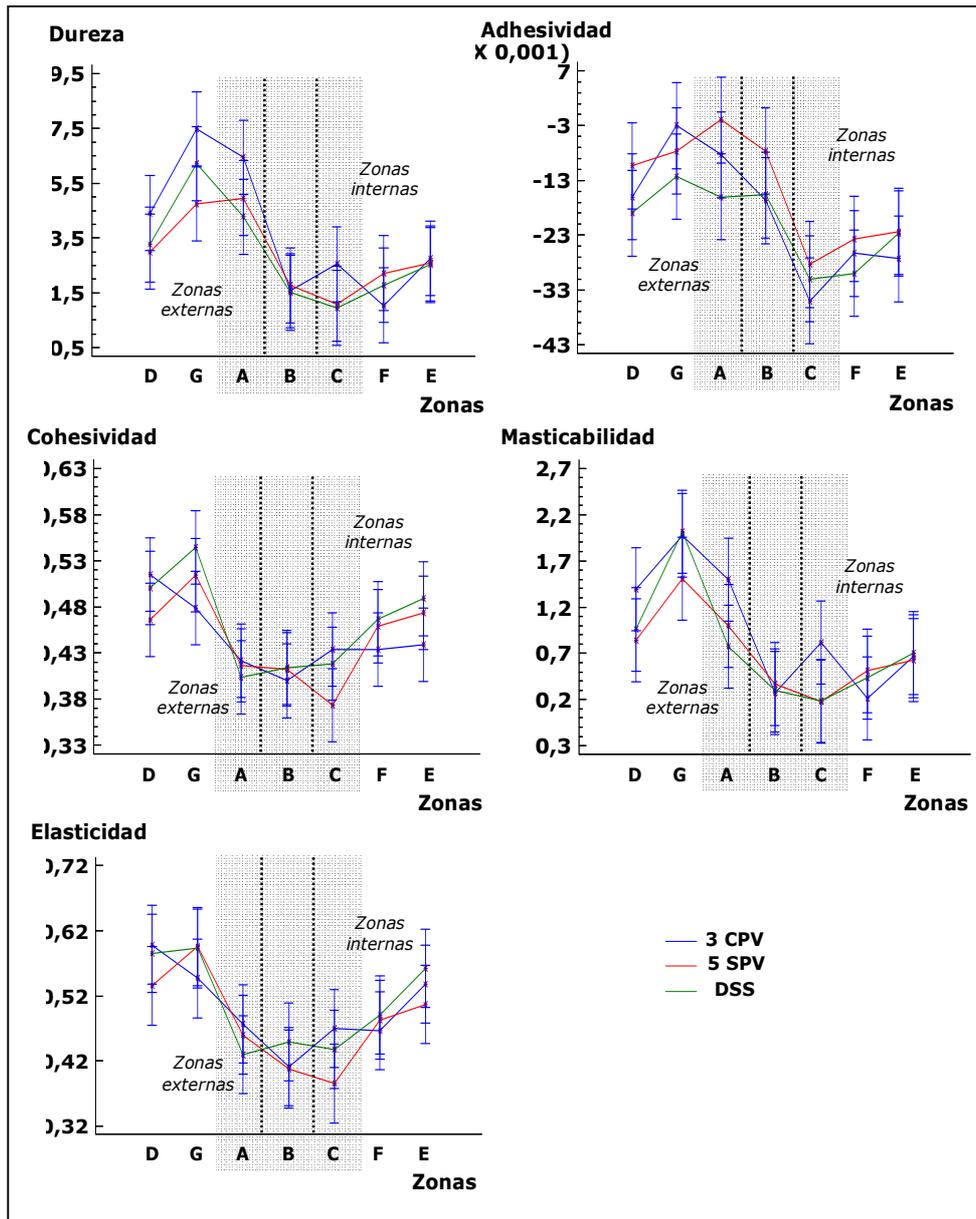


Figura 78. Valores de a los diferentes parámetros de textura, en las zonas de estudio, en el producto terminado, para los jamones 3 CPV, 5 SPV y DSS.

Otro parámetro de importancia hace referencia la adhesividad, la cual define el grado de adherencia de las muestras sobre una superficie. Como se observa en la figura 78, las zonas más externas del jamón presentaron valores más bajos, frente a los mayores de las zonas internas, aunque en este caso no se encontró una relación matemática con el resto de parámetros fisicoquímicos estudiados, que explicasen dicho comportamiento.

Así y en base a estos resultados obtenidos se podría afirmar que el empleo de la técnica de salado/descongelado simultaneo por inmersión en salmuera saturada no influye sobre la textura de los jamones al final de su proceso de elaboración.

De acuerdo a todo lo expuesto durante el análisis y discusión de resultados, se podría afirmar que el empleo de la técnica de salado/descongelado simultaneo en salmuera saturada, con y sin la aplicación de un pulso de vacío, podría ser una alternativa a introducir en el proceso de elaboración de Jamón Ibérico

6. CONCLUSIONES

Fase I. Caracterización de la influencia del uso de materia prima descongelada en el proceso de elaboración del jamón ibérico.

Desde el punto de vista de la materia prima, la cantidad de sal, dureza y masticabilidad son los únicos parámetros físico-químicos que presentan diferencias significativas, siendo menores para los jamones elaborados con materia prima descongelada, como consecuencia de su menor tiempo de salado. Así se podría decir que al contrario de lo que ocurre en cerdo blanco, el tiempo de salado debería ser igual o cuanto menos presentar una menor diferencia en los ratios de salado (tiempo / kg de materia prima), independientemente del tipo de materia prima utilizada (fresca o descongelada).

Así la incidencia que genera el proceso de congelado/descongelado sobre la estructura del pernil cuando este proviene de cerdo ibérico es menor que cuando lo hace procedente de cerdo blanco.

Las principales diferencias al final del proceso, independientemente del tipo de materia prima utilizada (fresca o descongelada), se dan entre las zonas externas e internas. Mientras las zonas externas tienen menores valores de humedad y sal, las más internas presentan un comportamiento inverso, obteniéndose una relación lineal entre ambos parámetros. Esta relación además favorece que las zonas externas presenten valores más bajos de color (L , a^* y b^*) y más altos de dureza. Por otro lado, para ambos tipos de materia prima, al final del proceso se alcanza un equilibrio salino (Z^{NaCl}) entre todas las zonas del jamón, lo cual deriva en valores similares de actividad de agua.

Fase II. Aplicación de la tecnología de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada, al proceso de elaboración del Jamón Ibérico.

Fase II.a. Caracterización del proceso de descongelación de perniles congelados por inmersión en salmuera saturada.

El descongelado de perniles de raza ibérica en salmuera saturada se produce en 54 horas, lo que implica una reducción de un 44 % con respecto al descongelado en cámara frigorífica para la misma temperatura de 3°C.

Fase II.b. Caracterización de la etapa de salado/descongelado en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío.

El salado/descongelado de perniles ibéricos congelados en salmuera saturada se produce de forma más rápida que en el proceso tradicional, siendo la reducción del tiempo de estas etapas del 61% en el caso de los jamones salados en salmuera sin pulso de vacío y del 77% en los jamones salados en salmuera con pulso de vacío.

El tiempo total de salado/descongelado de perniles congelados es de 5 días cuando se utiliza salmuera saturada a 3°C (0,46 días de salado/Kg. de pernil) y de 3 días si además se aplica un pulso de vacío (0,28 días de salado/Kg. de pernil), frente a los 4 días de descongelado en cámara frigorífica, más 9 días de salado en sal sólida (0,78 días de salado/kg. de pernil) del proceso tradicional

El salado en salmuera saturada implica un incremento en la masa de los perniles como consecuencia de la ganancia de salmuera, lo que implica la necesidad de una mayor pérdida de peso en las etapas posteriores.

Durante la etapa de salado, independientemente del agente de salado utilizado (salmuera o sal sólida), únicamente se aprecian variaciones significativas en los parámetros fisicoquímicos de las zonas más próximas a la superficie magra del pernil.

Fase II. c. Caracterización de la etapa de post-salado de jamones salado en salmuera saturada con y sin aplicación de un pulso de vacío.

Independientemente de las condiciones de procesado de esta etapa, al final de ella, la concentración salina en las zonas más desfavorables fue lo suficientemente elevada como para que las posteriores etapas del proceso de elaboración se pudiesen llevar a cabo de forma correcta.

Los fenómenos difusivos que se producen durante la etapa de post-salado se dan de forma similar, independientemente del tipo de salado realizado (salmuera o sal sólida), aunque la pérdida de peso acumulada de los jamones salados con salmuera, al final de esta etapa, es menor que la de los salados con sal sólida.

Fase II.d. Estudio de la influencia del proceso de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada, sobre el producto final.

El empleo de la técnica de salado/descongelado en salmuera saturada, con y sin aplicación de un pulso de vacío, no genera diferencias significativas en los parámetros analizados (ΔM_t^0 , X^w b.s., X^{NaCl} b.s., X^g b.s., Z^{NaCl} , a_w , color y textura), con respecto al uso de la técnica tradicional. Además las zonas estudiadas de los jamones

6. Conclusiones

elaborados mediante ambas técnicas de salado (salmuera y sal sólida) no reflejaron ninguna diferencia entre ambos tipos de jamones.

El empleo de salmuera saturada como medio de salado podría implicar la mayor automatización del proceso al tratarse de un fluido, así como la reducción del impacto ambiental, dada su posible reutilización, aunque ésto implicaría el estudio de sistemas de purificación.

En base a lo expuesto en la presente Tesis Doctoral se puede afirmar que el empleo de la técnica de salado/descongelado simultáneo en salmuera saturada, con y sin la aplicación de un pulso de vacío, puede ser una alternativa a introducir en el proceso de elaboración de Jamón Ibérico.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Andrés A.I., Cava R., Martin D., Ventanas J., Ruiz J. (2005). Lipolysis in dry-cured ham: Influence of salt content and processing conditions. *Food Chemistry* 90: 523-533.
- Andrés A.I., Ruiz J. (2001). Tecnología del salazonado del jamón Ibérico. En J. Ventanas (ed), Tecnología del Jamón Ibérico. Madrid: Mundi-Prensa, pp. 227-253.
- Andrés A., Rodríguez-Barona S., Barat J.M., Fito P. (2005). Salted cod manufacturing: influence of salting procedure on process yield and product characteristics. *Journal of Food Engineering* 69: 467-471.
- Alarcon-Rojo A.D., Dransfield E. (1995). Alteration of post-mortem ageing in beef by the addition of enzyme inhibitors and activators. *Meat Science* 41 (2): 163-178.
- Aljawad L.S., Bowers J.A. (1988). Water-binding capacity of ground lamb-soy mixtures with different levels of water and salt and internal endpoint temperatures. *Journal of Food Science* 53 (2): 376-378.
- Antonios T.F.T., MacGregor G.A. (1997). Scientific basis for reducing salt (sodium) content in food products. En Pearson A.M., Dutson T.R. (eds.), Production and processing of healthy meat, poultry and fish products. Advances in meat research series. London: Chapman & Hall. Vol. 11, pp. 84-100.
- Appel L.J., Moore T.J., Obarzanek E., Vollmer W.M., Svetkey L.P., Sacks F.M. (1997) A clinical trial of the effects of dietary patterns on blood pressure. DASH Collaborative research group 1997. *New England Journal of Medicine* 336: 1117-1124.
- Arakawa T., Timasheff S.N. (1982). Preferential interactions of proteins with salts in concentrated solutions. *Biochemistry* 21: 6545-6552.

7. Bibliografía

- Aristoy M.C., Toldrá F. (1995) "Isolation of flavor peptides from raw pork meat and drycured ham. En Charalambous G., (ed) Food flavors: Generation, analysis and Process Influence. Amsterdam: Elsevier Science Publ. B.V., 1323.
- Arnau J., (1993). Tecnología de elaboración del jamón curado. *Microbiología. SEM*, 9: 3-9.
- Arnau J., Guerrero L., Casodemant G., Gou P., (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry-cured ham during processing. *Food chemistry* 52: 63-69.
- Baldini P., Campanini M., Pezzani G., Palmia F. (1984). Reduction de la quantite de chlorure de sodium employe dans les produitsss_eches. *Viandes Produits Carnes* 5 (3): 83-88.
- Banks A. (1961). The role of cytochrome C in the autoxidation of unsaturated fatty acids. *Chem. Znd* 2: 32-40.
- Barat J.M., Grau R., Montero A., Chiralt A., Fito P., (1998). Feasibility of brining of ham for curing. En Proceedings of the 44th international congress of meat science and technology (Vol. II, pp. 970-971). Barcelona, Spain.
- Barat J. M., Grau R, Montero A., Chiralt A., Fito P., (2001). Salting time reduction of Spanish hams by brine salting. In Osmotic dehydration and vacuum impregnation. En Fito P, Chiralt A., Barat J.M., Beshnilian D, Spiess W., (eds.). Applications in food industries. Technomics pp. 155-169.
- Barat J.M., Rodríguez-Barona S., Andrés A., and Fito P. (2003). Cod salting manufacturing analysis. *Food Research International* 36: 447-453.
- Barat J.M., Grau R., Pagán-Moreno M.J., Fito P. (2004). Replacement of pile salting by simultaneous brine thawing-salting in Spanish cured ham manufacturing. *Meat Science* 66 (3): 603-608.

- Barat J. M., Grau R., Ibáñez J.B., Fito P. (2005). Post-salting studies en Spanish cured ham manufacturing. Time reduction by using brine thawing-salting. *Meat Science* 69: 201-208.
- Barat J.M., Grau R., Ibáñez J.B., Pagán M.J., Flores M., Toldrá F., Fito P. (2006a). Accelerated processing of dry-cured ham. Part I. Viability of the use of brine thawing/salting operation. *Meat Science* 72 (4): 757-765.
- Barat J.M., Vidal-Brotóns D., López-Pascual E., Gras M.L. (2006b). Quantification and kinetics of the residual brine generation during ham and shoulder pile salting. *Meat Science* (73): 576-580.
- Barbut S., Maurer A. J., Lindsay R. C. (1988). Effects of reduced sodium chloride and added phosphates on physical and sensory properties of turkey frankfurters. *Journal of Food Science* 53 (1): 62-66.
- Barreto G.M., Colmenero J., (1994). Conservación de la carne por frío. *Eurocarne*, 29: 71-79.
- Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P. (1998). Química de los alimentos. 2ª Edición. Ed. Acribia. Zaragoza.
- Bellagha S., Sahli A., Farhat A., Kechaou N., Glenza A. (2007). Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling. *Journal of Food Engineering* 78: 947-952.
- Bello J. (2008). Jamón curado, aspectos científicos y tecnológicos, perspectiva desde la unión europea. Ed. Díaz de santos. Madrid
- Bencze Røra A.M., Furuhaug R., Fjæra S.O., Skjervold P.O. (2004). Salt diffusion in pre-rigor filleted Atlantic salmon. *Aquaculture* 232: 255-263.
- Berlin E., Kliman P.G., Anderson B.A., Pallansch M.J. (1973). Water binding in whey protein concentrates. *Journal of dairy science* 56: 984-987.

7. Bibliografía

- Birkeland S., Akse L., Joensen S., Tobiassen T., Skåra T. (2007). Injection-Salting of pre rigor Fillets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science* 72 (1): 29-35.
- Boadas C., Gou P., Valero A., Arnau J. (2001). Changes in different zones of dry-cured ham during drying. Moisture and sodium chloride content. *Fleischwirtschaft*. 81 (1): 91-93.
- Bolzoni L., Barbieri G., Virgili R. (1996). Changes in volatile compounds of Parma ham during maturation. *Meat Science* 43 (3-4): 301-310.
- Bourne M.C. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technol.* 32 (7): 62-66, 72.
- Calcinardi C. (1962). La bresaola della Valtellina. *Annali Facolta di Medicina Veterinaria* 15: 1-49.
- Cantoni C., Calcinardi C. (1966). Prime ricerche sulla maturazione delle bresaola. *Atti XX Convegno Societa Italiana Scienze Veterinarie*: 613-617). Perugia, 6-9 ottobre.
- Cantoni C., BianchiM. A., Renon P., Calcinardi C. (1968). Studi su alcuni aspetti della maturazione della bresaola. *Archivio Veterinario Italiano* 19 (4): 269-275.
- Casiraghi E., Alamprese C., Pompei C. (2007). Cooked ham classification on the basis of brine injection level and pork breeding country. *LWT* 40: 164-169.
- Casp A., Abril J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Cava R., Ruiz J., Ventanas J., Antequera T. (1999). Oxidative and lipolytic changes during ripening of Iberian hams as affected by feeding regime: extensive feeding and alpha-tocopheryl acetate supplementation. *Meat Science* 52: 165-172
- Chang I., Watts B.M.(1950). Some effects of salt and moisture on rancidity of fat. *Journal of Food Science* 15 (4): 313-321.

- Cheftel J.C, Cuq J.L., Lorient D. (1989) *Proteínas Alimentarias*. Zaragoza: Acribia.
- Cheftel J.C., (1999). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos (Vol. I y II)*. Zaragoza: Acribia.
- Chiralt A., Fito P., (1997). Salting of manchego-type cheese by vacuum impregnation. En Fito P., Ortega-Rodríguez E., Barbosa-Cánovas G. V. (eds.), *Food engineering 2000*. New York: Chapman & Hall. (pp. 215-230).
- Chiralt A., Fito P., Barat J.M., Andrés A., González-Martínez C., Escriche I., Camacho M.M. (2001) Use of vacuum impregnation in food salting process. *Journal of Food Engineering* 49 (2-3): 141-151.
- Chobert J.M., Goutefongea R., Valin, C. (1981). Influence du présalage sur la solubilité et l'extractibilité des protéines de la viande de porc. Effect of presalting on solubility and extractibility of pork meat proteins. *Science des Aliments* 1 (2): 187-201.
- Chou D.H., Morr C.V. (1979). Protein-water interactions and functional properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 56: 53-56.
- Chouliara I., Savvaidis I.N., Panagiotakis N., Kontominas M.G. (2004) Preservation of salted, vacuum-packaged, refrigerated sea bream (*Sparus aurata*) fillets by irradiation: microbiological, chemical and sensory attributes. *Food Microbiology* 21: 351-359.
- Cobe P. (2002). Dry-cured ham. *Restaurant Business* 101 (10): 67-71.
- Collins J. E. (1997). Reducing salt (sodium) in processed meat, poultry and fish products. En Pearson A.M., Dutson T. R. (eds.), *Production and processing of healthy meat, poultry and fish products*. Advances in meat research series London: Chapman & Hall. Vol. 11, pp. 282-297.
- Coogan R.C., Wills R.B.H. (2002). Effect of drying and salting on the flavour compound of Asian white radish. *Food Chemistry* 77: 305-307.

7. Bibliografía

- Corzo O., Bracho N., Rodriguez J., González M. (2007). Predicting the moisture and salt contents of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 80: 781-790.
- Coutron-Gambotti C., Gandemer G., Rousset S., Maestrini, O., Casabianca F. (1999). Reducing salt content of dry cured ham: Effect on lipid composition and sensory attributes. *Food Chemistry* 64: 13-19.
- Curtis L., Lawley R. (2003). Micro-Facts. The Working Companion for Foods Microbiologists. Londres: Leatherhead Food RA.
- De Wit J.N. (1988). Empirical observations and thermodynamical considerations on water-binding by whey proteins in food products. *Journal of food science* 53 (5): 1553-1559.
- Delwiche J. F., Halpern B. P., De Simone, J.A. (1999). Anion size of sodium salts and simple taste reaction times. *Physiology and Behavior* 66: 27-32.
- Desmond E., 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. (2006). Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat science* 74: 188-196.
- Deumier F., Bohuon P., Trystram G., Saber N., Collignan A. (2003a). Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer. *Journal of Food Engineering* 58: 75-83.
- Deumier F., Trystram G., Collignan A., Guédider L., Bohuon P. (2003b). Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms. *Journal of Food Engineering*, 58: 85-93.
- Dillon J.C. (1987). Cheese in the diet. En Eck A. (ed.), *Cheesemaking: Science and technology* New York, USA: Lavoisier Publishing. pp. 499-512.

- Dirinck P., Van Opstaele F., Vandendriessche F. (1997). Flavour differences between northern and southern European cured hams. *Food Chemistry* 59 (4): 511-521.
- Ellis R., Currie G.T., Thornton F.E., Bollinger N.C., Gaddis A.M. (1968). Carbonyls in oxidizing fat II. The effect of the prooxidant activity of sodium chloride in pork tissue. *Journal of food science* 33 (6): 555-561.
- Escrive I., Fuentes C., Gonzalez C., Chiralt A. (2000). Development of Medium Volatility Compounds in Manchego-type Cheese as Affected by Salt Content and Salting Method. *Journal of food composition and analysis* 13: 827-836.
- Espe M., Nortvedt R., Lie O., Hafsteinsson H. (2001). Atlantic salmon (*Salmo salar*) as raw material for the smoking industry. I: effect of different salting methods on the oxidation of lipids. *Food Chemistry* 75: 411-416.
- Fennema O. R. (1993). Food chemistry New York: Marcel Dekker Inc. (2nd ed.).
- Fernández-López J., Sayas-Barberá E., Pérez-Álvarez J.A., Arándaca-Catalá, V. (2004). Effect of Sodium Chloride, Sodium Tripolyphosphate and pH on colour properties of pork meat. *Color, Research and application* 29: 67-74.
- Fito P., Pastor R. (1994). Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 21 (4): 513-519.
- Fito P., Andrés A., Chiralt A. and Pardo P. (1996). Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxation Phenomena During Vacuum treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems *Journal of Food Engineering* 21: 229-240.

7. Bibliografía

- Fito P., Chiralt A., Barat J.M., Andrés A., Martínez-Monzó J., Martínez-Navarrete N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering* 49: 297-302.
- Flores M., Aristoy M.C., Antequera T., Barat J.M., Toldrá F. (2009). Effect of prefreezing hams on endogenous enzyme activity during the processing of iberian dry-cured hams. *Meat Science* 82: 241-246.
- Flores J., Toldrá F. (1993). Curing: Processes and applications. En Macrae R., Robinson R., Sadler M., Fullerlove G. (eds). *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology & Nutrition*. Londres: Academic Press. pp 1277-1282.
- Forbes R.J. (1965). *Studies in ancient technology*. Brill: Leiden. Volume 3. pp 164-181.
- Fox P.F., Guinee T.P., Cogan T. M., McSweeney P.L.H. (2000). Starter culture. En *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, MD, USA: Aspen Publishers Inc. pp. 54-97.
- Fox J.B., 1980. Diffusion of chloride, nitrite and nitrate in beef and pork. *J. Food Sci*, 45 (6): 1740-1744.
- Fitzgerald E., Buckley J. (1985). Effect of total and partial substitution of sodium-chloride on the quality of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science* 68: 3127-3134.
- Frye C.B., 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.
- Gallart-Jornet L., Barat J.M., Rustad T., Erikson U., Escriche I., Fito P. (2007a). A comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Engineering* 79: 261-270.
- Gallart-Jornet L., Barat J.M., Rustad T., Erikson U., Escriche I., Fito P. (2007b) Influence of brine concentration on Atlantic salmon fillet salting. *Journal of Food Engineering* 73: 9-19.

- Gallart-Jornet L., Escriche I., Fito P. (2005). La salazón del pescado: una tradición mediterránea. Valencia: Ed. UPV.
- García-Esteban M, Ansorena D, Gimeno O., Astiasarán I. (2003). Optimization of instrumental colour analysis in dry-cured ham. *Meat Science* 63: 287–292.
- Genot C., (2002). Alteraciones en las carnes congeladas. *Eurocarne*. 112: 43-54.
- Girard J.P. (1990). Technologie de la viande et des produits carnes. Paris: Lavoisier.
- Girard, J. P., (1991). La deshidratación. Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Zaragoza: Acribia.
- Goll D.E., Otsuka Y., Nagainis P.A., Shannon J.D., Sathe S.K., Mugurama M. (1983). Role of muscle proteinases in maintenance of muscle integrity and mass. *J. Food Biochem*, 7: 137.
- González J., (2005). El jamón en el mundo antiguo. III Congreso Mundial del jamón sobre ciencia, tecnología y comercialización. Ed. Consejo regulador de la denominación de origen del jamón de Teruel.
- Gou P., Guerrero L., Gelabert J., Arnau J. (1996). Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin. *Meat Science* 42 (1): 37-48.
- Gou P., Comaposada, J., (2000). La transferencia de sal en el interior del jamón curado. *Eurocarne* 86: 35-44.
- Gou P., Comaposada J., Arnau J. (2002). Meat pH and meat fibre direction effects on moisture diffusivity in salted ham muscles dried at 5 °C. *Meat Science* 61: 25-31.
- Gou P., Comaposada J., Arnau J. (2003). NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of pork ham. *Meat Science* 63: 29-34.

7. Bibliografía

- Gou P., Comaposada J., Arnau J. (2004). Moisture diffusivity in the lean tissue of dry-cured ham at different process times. *Meat Science* 67: 203-209.
- Goulas A.E., Kontominas M.G. (2005). Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry* 93: 511-520.
- Goulas A.E., Kontominas M.G. (2007). Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry* 100: 287-296.
- Grau R., Albarracín W., Clemente G., Barat J.M. (2007). Study of the influence of product and process variables in the salting and post-salting stages of PSE thawed hams *Journal of Food Engineering* 3 (5): Artículo 11..
- Grau R. (2002). Modificaciones en el proceso tradicional de elaboración de jamón curado salado en salmuera y empleo de material prima congelada. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Gruda Z., Postolski J. (1986). Tecnología de la congelación de los alimentos. Zaragoza: Acribia.
- Guerrero L., Gelabert J., Guardia M.D., Gou P., Arnau J., Shepherd R., Sparks, P. (1998). Consumer attitude towards low salt meat products. *Food Science and Technology International* 4: 263-275.
- Guinee T.P., Fox P.F. (1993). Salt in cheese, physical, chemical and biological aspects. En Fox, P.F. (Ed.), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology* Londres: Chapman & Hall. pp. 257-302.
- Gunasekaran S., Mehmet A. M. (2003). *Cheese rheology and texture*. USA: CRC Press LLC.

- Guo M.R., Gilmore J.A., Kindstedt P.S. (1997). Effect of sodium chloride on the serum phase of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 80 (12): 3092-3098.
- Guven M., Karaca O.B. (2001). Proteolysis levels of white cheeses salted and ripened in brines prepared from various salts. *International Journal of Dairy Technology* 54: 29-33.
- Hermansson A.M., Akesson C. (1975). Functional properties of added proteins correlated with properties of meat systems. Effect of Concentration and Temperature on Water-Binding Properties of Model Meat Systems. *Journal of Food Science* 40 (3): 595-602.
- Hermansson A.M. (1986). Water and fat holding. En Mitchell J. R., Ledward D. A. (eds) Functional properties of food macromolecules Londres y New York: ed. Elsevier Appl. Sci. Publ. pp 273.
- Hernandez P., Park D., Rhee K.S. (2002). Chloride salt type/ionic strength, muscle site and refrigeration effects on antioxidant enzymes and lipid oxidation in pork. *Meat Science* 61: 405-410.
- Huerta T., Hernandez J., Guamis B., Hernandez E. (1988). Microbiological and physico- chemical aspects in dry salted spanish ham. *Zentralblatt-fuer-Mikrobiologie* 143: 475-482.
- IFT. (1980). Dietary salt: A scientific status summary. *Food Technology* 34: 85-91.
- Imanaka T., Amanuma-Muto K., Ohkuma S., Takano T. (1984). Characterization of lysosomal acid lipase purified from rabbit liver. *J. Biochem* 96: 1089-1101.
- Judge M., Aberle E.D., Forrest J.C., Hedrick H.B., Merkel R.A. (1989). Principles of meat science. Dubuke, IA: Kendal & Hunt Publishing.
- Kanner J., Kinsella J.E. (1983). Lipid deterioration initiated by phagocytic cells in muscle foods: beta-carotene destruction by a myeloperoxidase-hydrogen peroxide-halide system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31: 370-376.

7. Bibliografía

- Kanner J., Harel S., Joffe R. (1991). Lipid peroxidation of muscle food as affected by NaCl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39: 1017-1024.
- Kanner J. (1994). Oxidative process in meat and meat products: Quality implications. *Meat Science* 36: 169-189.
- Katsiari M.C., Alichanidis E., Voutsinas L.P., Roussis I.G. (2000). Proteolysis in reduced sodium Feta cheese made by partial substitution of NaCl by KCl. *International Dairy Journal* 10: 635-646.
- Katsiari M.C., Alichanidis E., Voutsinas L.P., Roussis I.G. (2001). Proteolysis in reduced sodium Kefalograviera cheese made by partial replacement of NaCl with KCl. *Food Chemistry* 73: 31-43.
- Kindstedt P.S., Kiely L.J., Gilmore J.A. (1992). Variation in composition and functional properties within brine-salted Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 75 (11): 2913-2921.
- Kinsella J.E. (1982). Relationship between structure and functional properties of food proteins. En Fox P. F., Cowdon, J. J. (eds.) *Food proteins* Londres: Appl. Sci. Publ.
- Koohmaraie M. (1994). Muscle proteinases and meat ageing *Meat Science* 36 (1-2), 93-104.
- Krieg N., Holt J. (1984) En Garrity G.M., Boone D.R., Castenholz R. W. (Eds.) *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Vol. 1. . London: Williams and Wilkins.
- Kumosinski T.F., Farrell H.M. (1994). Solubility of proteins: protein-salt-water interactions. En: Hettiarachchy S.N., Ziegler G.R. (eds.). *Protein functionality in food systems*. New York: Marcel Dekker.
- Kuraishi C., Sakamoto J., Yamazani K., Susa Y., Kuhara C., Soeda T. (1997). Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. *Journal of Food Science* 62 (3): 488-490, 515.

- Lautenschläger R., (1995). Difussion of sodium chloride and sodium nitrite in raw meat model systems. 41st annual international congress of meat science and technology. American meat science association. 507-508.
- Lawrence T.E., Dikeman M.E., Stephens J.W., Obuz E., Davis J.R. (2003). In situ investigation of the calcium-induced proteolytic and salting-in mechanisms causing tenderization in calcium-enhanced muscle. *Meat Science* 66: 69-75.
- Leistner L., (1985). Allgemeines über Rohwurst und Rohschinken. Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken. Institute für Microbiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, Germany.
- Leon L.F., Elias L.G., Bressani R. (1992). Effect of salt solutions on the cooking time, nutritional and sensory characteristics of common beans. *Food Research International* 25: 131-136.
- León L.F., Galán H., Peralta A., Ciudad N., Balderas B., Céspedes F., Ayala Cano, M.L. (1994). Direct salting of frozen hams. 40th ICOMST. The Hague, Netherlands.
- Lewis M.J., (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Zaragoza: Acribia.
- Lück E., Pager M. (2000). Conservación química de los alimentos: características, usos, efectos. Zaragoza: Acribia.
- Lumry R (1973). Some recent ideas about the nature of the interactions between proteins and liquid water. *Journal of food science* 38: 744-755.
- Luna G., Aparicio R., García-González D.L. (2006). A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME-GC. *Food chemistry* 97: 621-630.

7. Bibliografía

- Mabrouk A. F., Dugan L. R. (1960). A kinetic study of the autoxidation of methyl linoleate and linoleic acid emulsions in the presence of sodium chloride *J. Am. Oil Chem* 37: 486-490.
- Machado F.F., Coimbra J.S.R., Garcia Rojas E.E., Minim L.A., Oliveira F.C., Sousa R.C.S. (2007). Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration. *LWT* 40 (7): 1304-1307.
- Madadlou A., Khosrowshahi A., Mousavi M.E., Farmani J. (2007). The influence of brine concentration on chemical composition and texture of Iranian White cheese. *Journal of Food Engineering* 81 (2): 330-335.
- Mangino M.E. (1984). Physicochemical aspects of whey protein functionality. *Journal of dairy science* 67: 2711-2722.
- Martin L., Córdoba J.J., Ventanas J., Antequera T. (1999). Changes in intramuscular lipids during ripening of Iberian dry-cured ham. *Meat Science* 51: 129-134.
- Matsakura U., Okitani A., Nishimura T., Kato H. (1981) Mode of degradation of myofibrillar proteins by an endogenous protease, cathepsin L. *Biochim. Biophys. Acta* 662: 41.
- Migaud M. (1978). La charcuterie crue et les produits saumurés. Orly, Francia: Soussana S.A. pp. 526-529.
- Miller C. H., Parce J. W., Sisson P., Waite M. (1981). Specificity of lipoprotein lipase and hepatic lipase toward monoacylglycerols varying in the acyl composition. *Biochim. Biophys. Acta* 665: 385-392.
- Monahan F.J., Troy D.J. (1997). Overcoming sensory problems in low fat and low salts products. En Pearson A.M., Dutson T. R. (eds.), Production and processing of healthy meat, poultry and fish products. Advances in meat research series Londres: Chapman & Hall. Vol. 11, pp. 257-281.

- Morgan T., Aubert J.F., Brunner H. (2001). Interaction between sodium intake, angiotensin II, and blood pressure as a cause of cardiac hypertrophy. *American Journal of Hypertension* 14 (9): 914-920.
- Morr C.V. (1989). Beneficial and adverse effects of water-protein interactions in selected dairy products. *Journal of dairy science* 72: 575-580.
- Motilva M.J., Toldrá F., Flores J. (1992). Assay of lipase and esterase activities in fresh pork meat and dry-cured ham. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, 195: 446-450.
- Motilva M.J., Toldrá F. (1993a). Effect of curing agents and water activity on pork muscle and adipose subcutaneous tissue lipolytic activity. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung* 196: 228-232.
- Motilva M.J., Toldrá F., Nieto P., Flores J. (1993b). Muscle lipolysis phenomena in the processing of dry-cured ham. *Food Chem* 48:, 121-125.
- Motilva M.J., Rico E., Toldra F. (1993c). Effect of redox potential on the muscle enzyme system. *J. Food Biochem* 16: 207-215.
- Murphy C. L., Cardello A.V., Brand J.G. (1981). Tastes of fifteen halide salts following water and NaCl: anion and cation effects. *Physiology and Behavior* 26: 1083-1095.
- Netolitzky F. (1913). Nahrungs- und heilmittel der urägypter. *Z Unters Nahrungs Genubm* 26: 425-427.
- Ngapo T.M., Barbare I.H., Reynolds J., Mawson R.F., (1999). Freezing rate and frozen storage effectes on the ultraestructure of samples of pork. *Meat science* 53, 159-168.
- Nielsen G.S., Petersen B.R., Müller A.J. (1995). Impact of salt, phosphate and temperature on the effect of a transglutaminase (F XIIIa) on the texture of restructured meat *Meat Science* 41 (33): 293-299.

7. Bibliografía

- Ordóñez J.A., Cambero M.I., Fernández L., García L., García de Fernando G., De la Hoz L., Selgas D. (1998). Tecnología de los alimentos. Vol I Madrid: Síntesis.
- Orlowski M. (1990). The multicatalytic proteinase complex, a major extralysosomal proteolytic system. *Biochemistry* 29: 10289-10297.
- Özay G., Borcakh M. (1996). Effect of brine replacement and salt concentration on the fermentation of naturally black olives. *Food Research International* 28 (6): 553-559.
- Ozimek G., Poznanski S. (1981). Influence of an addition of textured milk proteins upon physicochemical properties of meat mixtures. *Journal of food science* 47: 234-239.
- Panagou E. (2006). Greek dry-salted olives: Monitoring the dry-salting process and subsequent physico-chemical and microbiological profile during storage under different packing conditions at 4 and 20 °C *LWT* 39: 322-329.
- Paleari M.A., Beretta G., Colombo F., Foschini S., Bertolo G., Camisasca S. (2000). Buffalo meat as a salted and cured product. *Meat Science* 54: 365-367.
- Parolari G., Virgili R., Schivazappa C. (1994). Relationship between cathepsin B activity and compositional parameters in dry-cured hams of normal and defective texture. *Meat Science* 38 (1): 117-122.
- Paulson B.M., McMahon D.J., Oberg C.J. (1998). Influence of sodium chloride on appearance, functionality, and protein arrangements in non fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 81 (8): 2053-2064.
- Pavia M., Trujillo A.J., Guamis B., Ferragut V. (2000). Effectiveness of High-Pressure Brining of Manchego-type Cheese. *LWT* 33: 401-403.

- Pérez-álvarez J.A., Sayas-Barberá M.E., Fernández-López J., Gago-Gago M.A., Pagán-Moreno M.J., Aranda-Catalá V. (1999). Chemical and color characteristics of Spanish Dry-Cured Ham at the end of the aging process. *Journal of Muscle Foods* 10: 195-201.
- Pezzani G., Barbuti S., Ghisi M. (1988). Modificazione del tessuto adiposo durante la stagionatura del prosciutto. *Ind. Conserve*, 63, 338-342.
- Phillips M.C. (1977). The conformation and properties of proteins at liquid interfaces. *Chemistry and industry* 34: 170-176.
- Powers J.M., Mast M.G. (1980). Quality differences in simulated kosher and conventionally processed chicken. *Journal of Food Science* 45 (4): 760-764.
- Prändl O., Fisher A., Schmidhofer T. and Sinell H. (1994). Tecnología e higiene de la carne. Zaragoza: Acribia.
- Primo Yúfera E., 1997. Química de los Alimentos. Madrid: Síntesis,.
- 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.
- Rahman M. (2003). Manual de conservación de los alimentos. Zaragoza: Acribia.
- Ray K., Harris H. (1987). Lens neutral endopeptidase occurs in other bovine and human tissues. *Biochemical Journal* 248: 643-648.
- Rico E., Toldra F., Flores J. (1990). Activity of cathepsin D as affected by chemical and physical dry-curing parameters. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 191, 20-23.
- Rosell C.M., Toldrá F. (1996). Effect of curing agents on m-calpain activity through the curing process. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung Z. Lebensm* 203: 320-325.

7. Bibliografía

- Rowney M.K., Roupas P., Hickey M.W., Everett D.W. (2004). Salt-induced structural changes in 1-day old Mozzarella cheese and the impact upon free oil formation. *International Dairy Journal* 14: 809-816.
- Ruiz-Ramirez J., Arnau J., Serra X., Gou P. (2005a). Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science* 70: 579-587.
- Ruiz-Ramirez J., Serra X., Arnau J., Gou P. (2005b). Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin. *Meat Science* 69: 519-525.
- Ruusunen M., Niemistö M., Poulanne E. (2002). Sodium reduction in cooked meat products by using commercial potassium phosphate mixtures. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 199-207.
- Ruusunen M., Poulanne E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science* 70: 531-541.
- Sanchez A.J., Albarracín W., Grau R., Ricolfe C., Barat J.M. (2008). Control of ham salting by using image segmentation. *Food Control* 19: 135 – 142.
- Sárraga C., Gil M., Arnau J., Monfote J.M., Cussó R. (1989). Effect of curing salt and Phosphate on the activity of porcine muscle proteases. *Meat Science* 25: 541-249.
- Sárraga, C. (1992). Meat proteinases and their relation with curing. En: Smulders F.J.M., Toldrá F., Flores J., Prieto M., (eds). *New technologies for meat and meat products*. Nijmegen: Audet,.
- Schleiden M.J. (1875). *Das Salz. Seine Geschichte, seine Symbolik und seine Bedeutung im Menschenleben*. Leipzig: Engelmann.
- Serra X., Gil F., Perez-Enciso M., Oliver M.A., Vazquez J.M., Gispert M., Díaz I., Moreno F., Latorre R., Noguera J.L. (1998) A comparison of carcass, meat quality and histochemical characteristics of Iberian

- (Guadyerbas line) and Landrace pigs. *Livestock Production Science* 56: 215-223.
- Scott W.J. (1953). Water relations of *staphylococcus aureus* at 30 °C. *Australian Journal Biological Science* 6: 549-564.
- Scott W.J. (1957). Water relations of food spoilage microorganisms, *Advance in food research* 7: 83-127.
- Sigurgisladottir S., Sigurdardottir M.S., Torrissen O., Vallet J.L., Hafsteinsson H. (2000). Effects of different salting and smoking processes on the microstructure, the texture and yield of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Food Research International* 33: 847-855.
- Sneat P., Mair N., Sharpe M.E., Holt J. (1984). In Garrity G.M., Boone D.R., Castenholz R. W. (eds.) *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Vol. 2. . Londres: Williams and Wilkins.
- Sofos J. N. (1985). Influences of sodium tripolyphosphate on the binding and antimicrobial properties of reduced NaCl comminuted meat products. *Journal of Food Science* 50: 1379-1385.
- St. Angelo A.J., Bailey M.E. (1987). *Warmed-over Flavor of Meat*. New York: Academic Press.
- Stoknes I.S., Walde P.M., Synnes M. (2005). Proteolytic activity in cod (*Gadus morhua*) muscle during salt curing. *Food Research International* 38: 693-699.
- Stoknes I., Rustad T. (1995). Purification and characterisation of a multicatalytic proteinase from Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology* 111 (4): 587-596.
- Szczesniak A.S. 1966. Texture measurements. *Food Technol*, 20: 50, 55-53.
- Tappel A.L. (1952). Linoleate oxidation catalyzed by hog muscle and adipose tissue extract. *Food Res* 17: 550-558.

7. Bibliografía

- Thorarinsdottir K.A., Arason S., Geirsdottir M., Bogason S.G., Kristbergsson K. (2002). Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry. *Food Chemistry* 77: 377-385.
- Toldrá, F. (1992) The enzymology of dry-curing of meat products. En: Smulders F.J.M., Toldrá F., Flores J., Prieto, M., (eds) *New Technologies for Meat and Meat Products*. Nijmegen: Audet.
- Toldrá F., Flores M., Navarro J.L., Aristoy M.C., Flores, J. (1997a) New developments in dry-cured ham. En: Okai H., Mills O., Spanier A.M., Tamura M., (eds) *Chemistry of novel foods*. Carol Stream: Allured Pub. Co.
- Toldrá F., Flores M., Sanz Y. (1997b). Dry-cured ham flavour: Enzymatic generation and process influence. *Food Chem.*, 59, 523,
- Toldrá F., Flores M. (1998). The role of proteases and lipases in flavour development during the processing of dry-cured ham. *CRC Critical Reviews in Food Science* 38: 331-352.
- Torres E., Pearson A.M., Gray J.I., Booren A.M., Shimokomaki M. (1989). Effect of salt on oxidative changes in pre- and post-rigor ground beef. *Meat Science* 23: 151-163.
- Torres E., Shimokomaki M., Franco B, Landgraf M., Carvalho B., Santos J.C. (1994). Parameters determining the quality of charqui, an intermediate moisture meat product. *Meat Science* 38: 229-234.
- Townsend W.E., Olson D.G. (1994). Las carnes curadas y su procesado. En Price J., Schweigert B. (eds), *Ciencia de la carne y de los productos carnicos*. Zaragoza: Ed Acribia.
- Trujillo A.J., Guamis B., Carretero C. (2000). A procedure for the manufacture of goat milk cheese with controlled-microflora by means of high hydrostatic pressure. *Food Chemistry* 69: 73-79.

- United States Department of Agriculture (USDA)-Food Safety and Inspection Service (FSIS). (2005). Principles of Preservation of Shelf-Stable Dried Meat Products, p. 156-170
- Ventanas J., (2001). Tecnología del jamón ibérico. De los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma. Madrid: Mundi-Prensa.
- Van Hekken D.L., Strange E.D. (1993). Functional properties of dephosphorilated bovine whole casein. *Journal of Dairy Science* 76: 3384-3391.
- Vestegaard C. S., Schivazappa C., Virgili R. (2000). Lipolysis in dry cured ham maturation. *Meat Science* 55: 1-5.
- Villacís M.F., Rastogi N.K., Balasubramaniam V.M. (2008) Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT*.41(5): 836-844.
- Vieira CR, Biasutti E., Capobiango M, Afonso W., Silvestre M. (2006) Effect of salt on the solubility and emulsifying properties of casein and its tryptic hydrolysates. *Ars Pharmaceutica* 47 (3): 281-292.
- Wismer J. (1994). Química de los tejidos animales. En Price J., Schweigert B. (eds), Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Zaragoza: Acribia.
- Wood F.W., (1966). The diffusion of salt in pork muscle and fat tissue. *J. Sci. Fd. Agric* 17: 138-140.
- Wyszecki G., Stiles, W. S. (1982). Color science. Concepts and methods quantitative data and formula (2nd ed.). New York: John Wiley
- Ye Q., Heck G.L., De Simone J.A. (1991). The anion paradox in sodium taste reception: resolution by voltage-clamp studies. *Science* 254: 726-742.

7. Bibliografía

- Ye Q., Heck G.L., De Simone J.A. (1993). Voltage dependence of the rat chorda tympani response to Na⁺ salts: implications for the functional organization of taste receptor cells. *Journal of Neurophysiology* 70: 167-178.
- Young J.C., Tae J.K., Kil B.S., Gi B. L., (2003). Effect of immersion in saturated salt solution on physicochemical properties of black rockfish muscle. *Fisheries Science* 69: 1048-1052.
- Zeece M.G., Katoh K. (1989) Cathepsin D and its effect on myofibrillar proteins: a review. *J. Food Biochem* 13: 157.
- Zeuthen P., Bøgh-Sørensen L. (2003). Food preservation techniques. Boca raton USA: CRC press.