

**FACULTAD DE VETERINARIA
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS
DEPARTAMENTO CIENCIA ANIMAL Y DE LOS ALIMENTOS**

**TEXTURA DE MÚSCULOS DE CERDO Y DE JAMÓN CURADO
CON DISTINTOS NIVELES DE NaCl, pH Y CONTENIDO DE
AGUA**

*Tesis Doctoral presentada por
JORGE LUIS RUIZ RAMÍREZ*

2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA
FACULTAD DE VETERINARIA

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS
DEPARTAMENTO CIENCIA ANIMAL Y DE LOS ALIMENTOS

TEXTURA DE MÚSCULOS DE CERDO Y DE JAMÓN CURADO
CON DISTINTOS NIVELES DE SAL, pH Y CONTENIDO DE
AGUA

Tesis doctoral presentada como
compendio de publicaciones por
JORGE LUIS RUIZ RAMÍREZ

BELLATERRA (CERDANYOLA DEL VALLÉS), 2005

Jacint Arnau Arboix y Pere Gou Botó, doctores adscritos al «Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries» (IRTA).

Hacen saber:

Que la tesis doctoral titulada: «Textura de músculos de cerdo y de jamón curado con distintos niveles de NaCl, pH y contenido de agua» presentada por el licenciado en Veterinaria Jorge Luis Ruiz Ramírez para optar al grado de Doctor en Ciencias de los Alimentos, ha sido realizada bajo nuestra dirección y considerándola acabada, autorizan su presentación para que sea juzgada por la comisión correspondiente. Y para que así conste a los efectos oportunos, firmamos la presente certificación

Vº Bº Director

Vº Bº Director

Dr. Jacint Arnau Arboix

Jefe de la Unidad de Ingeniería
y Tecnología de Procesos
(CTC-IRTA) Centro de Tecnología de la Carne

Dr. Pere Gou Botó

Unidad de Ingeniería y
Tecnología de Procesos
(CTC-IRTA)

Vº Bº Tutora

Dra. Reyes Pla

Profesora Titular del Departamento
de Ciencia Animal y de los Alimentos de la
Universidad Autónoma de Barcelona

A DIOS
A GILDA
A JORGE EDUARDO Y JORGE ANDRÉS
A ELSA RAMÍREZ
A JORGE ANTONIO, MIRNA, MINORIS,
ESTELA Y ELSA

AGRADECIMIENTOS

A Rafael Román Bravo y Enrique Márquez Salas, profesores de la Universidad del Zulia, en Maracaibo-Venezuela por sus enseñanzas y apoyo, y decirles que esta Tesis Doctoral también es un logro de ellos.

A mis apreciados directores de Tesis Drs. Jacint Arnau Arboix y Pere Gou Botó, por su paciencia, amistad, dedicación, enseñanza y por su comprensión, y lograr llevar a feliz término y en el tiempo previsto esta Tesis Doctoral.

A la profesora Reyes Pla, mi Tutora por la Universidad Autónoma de Barcelona, por su ayuda, confianza y amistad.

A la Universidad del Zulia, por el permiso otorgado para realizar los estudios de doctorado y de la cual me siento orgulloso de formar parte.

Al Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología de Venezuela (FONACIT), organismo adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología, por el cofinanciamiento otorgado para poder mantenerme en este país con mi familia. Permanencia que me ha permitido adquirir nuevos conocimientos en la Ciencia y Tecnología del Jamón Curado, pero también el conocer otra cultura y bellos paisajes, y lo más importante aún, a las entrañables personas de esta hermosa Comunidad Autónoma de España, que es Cataluña (¡Visca Catalunya!).

A la Comisión de Investigación Científica y Técnica (CICYT) por el soporte económico para la realización de esta investigación, la cual estuvo enmarcada dentro de los proyectos AGL2000-0517-P4-04, AGL2003-04612 y al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), proyecto RTA01-074.

Al Dr. Josep Tarragó Colominas, Director General del Instituto de Investigaciones y Tecnología Agroalimentaria de Cataluña (IRTA) y al Dr. Josep Maria Monfort Bolivar director del Centro de Tecnología de la Carne del IRTA (IRTA-CTC) por permitirme la entrada a este espléndido Instituto y por el apoyo mostrado.

A todos mis compañeros de trabajo del IRTA-CTC, con los cuales he compartido momentos excepcionales en estos 4 años. En especial a Quim Arbonés, Bernardo Guerra, Angel Valero, Dolors Guàrdia y Luis Guerrero, por su ayuda en la preparación de los productos cárnicos, en el análisis químico, y por la atención

prestada. A Eugeni, María José, Narcís y Carmen Sárraga, por los momentos compartidos en el laboratorio. A Marta Gil, Margarita Garriga, Mariangels Oliver y José Antonio García-Regueiro por el trato recibido. A Filiberto Sánchez y Pedro Rodríguez, por su grata compañía e invaluable apoyo. A María Hortós, Mariangels Rius, Massimo Castellari, Josep Comaposada, Pierre Picouet, Xavier Serra, Israel Muñoz, Agustí Quintana, Albert Rossell, Montse Pagès, Sònia Xuclà, Elena Avellí, Yolanda Masdeu, Narcís Sais, Yolanda Beltrán, Anna Jofre, Belén Martín, Carmen Rabaneda, David Tibau, Carmen Sánchez por los gratos momentos vividos.

A mi amigo Wilfido José Briñez y su bella familia, compañero de trabajo y de estudios desde mi carrera de Licenciatura hasta los estudios doctorales en la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) de la cual seremos sus egresados, por su solidaridad y apoyo incondicional.

A mis compañeros de trabajo en la Universidad del Zulia, y que estuvieron aquí compartiendo conmigo durante mi estancia en Cerdanyola del Vallès, Atilio, gracias porque eres estupendo, Xomaira, Aixa, Denice, Armando, Fanny y William, gracias por su compañía.

A los compañeros de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona, en especial a Víctor Gélvez por su compañía e incondicional ayuda.

Un agradecimiento muy especial a Miquel Vidal, Anna Cardos y sus hijos Carla y Roger, familia que nos acogió durante nuestra estancia en GIRONA, por esos maravillosos e inolvidables momentos vividos, por su apoyo y compañía. Muchas gracias por hacer mi estancia y la de mi familia verdaderamente agradable.

A la bella ciudad de GIRONA, la cual he aprendido a querer en estos cuatro años, nunca te olvidaré GIRONA.

También quiero agradecer a un compañero que estuvo aquí pero que ya regreso a su país, pero, con él que compartí muchas experiencias Jorge Ramírez, gracias por tu compañía.

Y a todas las personas que de alguna forma u otra intervinieron en este trabajo y escapan de mi memoria en este momento.

¡A TODOS MI AGRADECIMIENTO!

ÍNDICE DE CONTENIDO

Constancia	v
Dedicatoria	vii
Agradecimientos	ix
Índice de Contenidos	xi
Lista de Tablas no incluidas en las publicaciones	xv
Lista de Figuras no incluidas en las publicaciones	xvii
Lista de Abreviaturas	xix
Prefacio	xxi
Resumen	xxiii
Abstract	xxv
Resum	xxvii
Capítulo I: Introducción y Objetivos	1
1. Introducción	3
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos	5
3. Referencias bibliográficas	5
Capítulo II: Revisión bibliográfica	9
1. Descripción del jamón curado	11
1.1. Definición	11
1.2. Estructura y composición	11
1.3. Tipos de jamón curado	12
2. Proceso de fabricación del jamón curado	12
2.1. Selección de la materia prima	14
2.2. Preparación de la materia prima	15
2.3. Salado	15
2.4. Reposo	17
2.5. Secado-Maduración	18
2.6. Envasado	20

3. Textura del jamón curado	21
3.1. Factores que afectan la textura del jamón curado	23
3.1.1. Materia prima utilizada	23
3.1.1.1. Origen genético	23
3.1.1.2. Contenido y composición de la grasa intramuscular	24
3.1.1.3. pH	24
3.1.1.4. Potencial proteolítico	25
3.1.1.5. Condición sexual	26
3.1.2. Proceso tecnológico	27
3.1.2.1. Temperatura y humedad relativa	27
3.1.2.2. Contenido de agua, actividad de agua y sal añadida ...	29
3.1.2.3. Tiempo de proceso	33
3.2. Principales problemas de textura en jamón curado	34
3.2.1. Encostrado	34
3.2.2. Textura blanda y/o pastosa	35
3.3. Métodos utilizados para la determinación de la textura	36
3.3.1. Métodos instrumentales	36
3.3.1.1. Métodos fundamentales	36
3.3.1.2. Métodos empíricos	36
3.3.1.3. Métodos imitativos	36
3.3.1.4. Métodos químicos y microscópicos	37
3.3.1.5. Métodos fisiológicos	40
3.3.1.6. Métodos basados en la velocidad de los ultrasonidos ...	40
3.3.2. Métodos sensoriales	40
3.4. Relación entre las medidas de textura instrumentales y sensoriales	43
4. Referencias Bibliográficas	44
Capítulo III: Materiales y Métodos	55
1. Procedimiento general	57
2. Experimento 1	58

3. Experimento 2	60
4. Diseño experimental de los experimentos 3 y 4	63
4.1 Experimento 3	65
4.2 Experimento 4	69
5. Análisis estadístico	71
6. Referencias bibliográficas	72
 Capítulo IV: Texture parameters of dry-cured ham <i>m. biceps femoris</i> samples dried at different levels as a function of water activity and water content	
Abstract	73
1. Introduction	75
2. Materials and methods	76
3. Results and discussion	77
4. Acknowledgements	79
5. References	83
 Capítulo V: Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin	
Abstract	84
1. Introduction	87
2. Materials and methods	89
3. Results and discussion	90
4. Conclusions	91
5. Acknowledgements	93
6. References	99
 Capítulo VI: Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles	
Abstract	103
1. Introduction	105
2. Materials and methods	106
3. Results and discussion	107
	109

4. Conclusions	118
5. Acknowledgements	120
6. References	120
Capítulo VII: Effect of pH₂₄ and NaCl content on the relationship between water content and texture parameters in <i>biceps femoris</i> and <i>semimembranosus</i> muscles in dry-cured ham	125
Abstract	127
1. Introduction	128
2. Materials and methods	129
3. Results and discussion	132
4. Conclusions	142
5. Acknowledgements	142
6. References	142
Capítulo VIII: Discusión global de los resultados	147
1. Relación de la actividad de agua y del contenido de agua con los parámetros de textura	149
2. Efecto músculo y pH _{SM24} sobre la relación entre contenido de agua y los parámetros de textura	154
3. Efecto de la cantidad de NaCl añadida sobre la relación entre contenido de agua y los parámetros de textura	156
4. Efecto del contenido de grasa intramuscular y del índice de proteolisis sobre la relación entre el contenido de agua y los parámetros de textura ...	161
5. Referencias bibliográficas	164
Capítulo IX: Conclusiones	167
Anexos: Comunicaciones a Congresos	171
Índice Alfabético	209

LISTA DE TABLAS NO INCLUIDAS EN LAS PUBLICACIONES

Tabla 1.	Composición del pernil	12
Tabla 2.	Composición química de músculo típico de mamífero adulto.....	12
Tabla 3.	Clasificación de los jamones	12
Tabla 4.	Parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA) y su relación con las características sensoriales	38
Tabla 5.	Instrumentos y métodos utilizados en el análisis de textura en jamón curado	39
Tabla 6.	Descriptores de textura utilizados en jamón curado	41
Tabla 7.	Esquema general de los experimentos realizados	57
Tabla 8.	Diseño de los experimentos 3 y 4 por cada músculo (<i>semimembranosus</i> y <i>biceps femoris</i>)	63
Tabla 9.	Condiciones de procesamiento de los jamones	66
Tabla 10.	Modelos matemáticos $Y=1/(a+bX+CX^2)$ para dureza y masticabilidad y $Y=a+bX$ para cohesividad en lomo curado	146
Tabla 11.	Medias ($\pm$ D.E) de la composición fisicoquímica de los músculos <i>biceps femoris</i> y <i>semimembranosus</i> de jamón curado	158

LISTA DE FIGURAS NO INCLUIDAS EN LAS PUBLICACIONES

Figura 1.	Relación de la actividad de agua con la aparición del encostrado y remelo	31
Figura 2.	Gráfica producto del análisis del perfil de textura.....	37
Figura 3.	Texturómetro utilizado en el experimento 1	59
Figura 4.	Túnel de secado.....	61
Figura 5.	Texturómetro utilizado en los experimentos 2, 3 y 4	62
Figura 6.	Esquema del diseño experimental utilizado para los experimentos 3 y 4	64
Figura 7.	Condiciones en que fueron colocados los músculos y jamones para su salado	65
Figura 8.	Colocación de las muestras dentro de los secaderos	66
Figura 9.	Plantilla utilizada para la obtención de la muestra (paralelepípedo) y su colocación en el texturómetro para su posterior análisis	67
Figura 10.	Jamones colgados en el secadero	69
Figura 11.	Representación gráfica señalando la ubicación de los músculos <i>biceps femoris</i> (BF) y <i>semimembranosus</i> (SM) en jamón curado	70
Figura 12.	Relación entre X (kg de agua/kg materia seca) y la variable dureza	150
Figura 13.	Relación entre X y la variable cohesividad	151
Figura 14.	Relación entre X y la variable elasticidad	152
Figura 15.	Relación entre X y los parámetros de textura en los músculos <i>semimembranosus</i> y <i>biceps femoris</i> de jamón y músculo curado	155
Figura 16.	Relación entre X y la dureza predicha según pH_{SM24} en músculo curado y en jamón curado	157
Figura 17.	Relación entre X y la cohesividad predicha según pH_{SM24} en músculo curado y en jamón curado	158

Figura 18.	Relación entre X y la dureza predicha según la interacción pH_{SM24} y el contenido de NaCl expresado en base seca en músculo curado	159
Figura 19.	Relación entre X y la cohesividad y la elasticidad predicha según la interacción pH_{SM24} y el contenido de NaCl expresado en base seca en músculo curado	160
Figura 20.	Relación entre X y los parámetros de textura según el índice de proteólisis en jamón curado	163

LISTAS DE ABREVIATURAS

AOAC	Association of Official Analytical Chemistry (Asociación Oficial de Química Analítica)
a_w	Actividad de agua
BF	Músculo <i>biceps femoris</i>
DFD	Dark Firm Dry (Oscura, Firme y Seca)
ETG	Especialidad Tradicional Garantizada
g	Gramos masa
g	Gramos fuerza
HR	Humedad Relativa
IP	Índice de Proteolisis
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)
kg	Kilogramos masa
kg	Kilogramos fuerza
LE	Lomo Encostrado
LNE	Lomo No Encostrado
MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MS	Materia Seca
N	Normalidad
NaCl	Cloruro de sodio
NNP	Nitrógeno No Proteico
NT	Nitrógeno Total
pH	$-\log [H^+]$
pH _{SM2}	pH medido a las 2 horas <i>postmortem</i>
pH _{SM24}	pH medido en el músculo <i>semimembranosus</i> a las 24 horas <i>postmortem</i>
pH _{SM}	pH medido en el músculo <i>semimembranosus</i>
PSE	Pale Soft Exudative (Pálida, Blanda y Exudativa)

R ²	Coeficiente de Determinación
RMSE	Residual Standard Deviation (Desviación Estándar Residual)
rpm	Revoluciones por minuto
SM	Músculo <i>semimembranosus</i>
TPA	Texture Profile Analysis (Análisis de Perfil de Textura)
WB	Warner Bratzler
X	Contenido de agua sobre base seca, expresado en (kg de agua/ kg de materia seca)
X _d	Contenido de agua sobre base seca desalada, expresado en (kg de agua/ kg de materia seca-kg de NaCl)
X _{dd}	Contenido de agua sobre base seca desalada y desgrasada, expresado en (Kg de agua/ kg de materia seca-kg de NaCl-kg de grasa intramuscular)

PREFACIO

Esta memoria es el resultado de cuatro años de investigar el efecto del contenido de agua, de diferentes niveles de sal añadida durante el proceso y del pH de la materia prima sobre la textura (medida instrumentalmente) en músculo de cerdo y de jamón curado. Esta investigación se realizó en el Centro de Tecnología de la Carne del Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA).

Su contenido está dividido en nueve capítulos, correspondiendo el capítulo uno a la introducción y a los objetivos de la Tesis Doctoral. Este capítulo comprende: el planteamiento y una revisión general del problema que se estudia en la presente investigación, y los objetivos que se pretenden alcanzar.

El segundo capítulo corresponde a la revisión bibliográfica donde se describen la elaboración del jamón curado, los factores que afectan su textura, los principales problemas de textura encontrados en este producto y los métodos empleados para la determinación de su textura.

El tercer capítulo corresponde a los materiales y a la metodología empleados en la investigación, la cual se encuentra estructurada en cuatro experimentos. Los experimentos uno y dos son preliminares, y se pretende con ellos obtener un conocimiento más amplio de la relación existente entre el contenido de agua y/o actividad de agua con los parámetros de textura en jamón curado (Exp. 1) y en lomo curado (Exp. 2). En los experimentos tres y cuatro se pretende determinar el efecto que pudiese tener la sal añadida durante el proceso y el pH_{SM} de la materia prima sobre la relación existente entre el contenido de agua y los parámetros de textura.

En los capítulos del cuatro al siete se presentan las publicaciones generadas producto de la investigación, correspondiendo el capítulo cuatro a los parámetros de textura en muestras de músculos *biceps femoris* de jamón curado secadas a diferentes niveles como una función de la actividad de agua y el contenido de agua; el capítulo cinco al estudio de los perfiles de contenido de agua, actividad de agua y textura en lomo curado encostrado y no encostrado; el capítulo seis al efecto del pH y del NaCl sobre la relación entre el contenido de agua y de NaCl y los parámetros de textura en músculos curados y el capítulo siete al efecto del pH_{24} y del contenido de NaCl sobre

la relación entre el contenido de agua y los parámetros de textura en músculos *biceps femoris* y *semimembranosus* de jamones curados.

El capítulo ocho comprende la discusión global de los resultados, donde se discute de forma conjunta los resultados obtenidos en cada experimento y el capítulo nueve presenta las conclusiones.

También hay un apartado que corresponde a los anexos donde aparecen las comunicaciones presentadas en congresos. Con esta estructuración de la presente Tesis Doctoral se busca una mejor comprensión de la misma.

Girona, julio de 2005

RESUMEN

La presente Tesis Doctoral tiene como objetivo determinar la relación entre parámetros de composición: actividad de agua (a_w), contenido de agua (X), contenido de NaCl, pH de la materia prima y la relación nitrógeno no proteico/nitrógeno total con los parámetros de textura instrumental en músculos de cerdo y en jamón curado. Para ello se realizaron cuatro experimentos. Dado que no se encontraron trabajos que previamente hubiesen estudiado este tipo de relación en músculo de cerdo y en jamón curado, se realizaron dos experimentos preliminares que sirvieron para definir la metodología a emplear y que permitieron establecer el diseño experimental de los experimentos posteriores. El experimento 1 tuvo como objetivo determinar la relación entre los diferentes niveles de a_w y de X con los parámetros de textura (dureza, masticabilidad, cohesividad y elasticidad) en muestras de músculo *biceps femoris* de jamones curados con diferentes grados de secado. El experimento 2 tuvo como finalidad comprobar este tipo de relación en un producto de corta curación (Lomo curado), establecer los perfiles de textura, a_w y X en un producto cárnico encostrado y observar la relación de estos parámetros en otro músculo anatómicamente distinto a los del pernil, en este caso el músculo *longissimus dorsi*. Los experimentos 3 y 4 tuvieron como objetivos la determinación del efecto del contenido de NaCl añadido, del pH de la materia prima y del nitrógeno no proteico del producto final sobre la relación entre X y la dureza, cohesividad y elasticidad en músculos secos curados, madurados durante 45 días (experimento 3), y sobre jamones curados madurados durante 289 días (experimento 4). La relación de X y de la a_w con la dureza en jamón curado y lomo curado fue no lineal. La dureza aumentó a medida que disminuyó X y la a_w . Por debajo de valores de X de 0,6 y a_w de 0,7, la dureza del jamón curado aumentó de forma importante lo cual podría relacionarse con el fenómeno del encostrado que se observa en el exterior del jamón curado. Este incremento sustancial de la dureza ocurrió aproximadamente a igual valor de X en músculo *biceps femoris* y *semimembranosus* curados durante 45 días pero fue diferente al observado en lomo curado. La relación de X y a_w con la cohesividad y elasticidad fue lineal. La cohesividad y elasticidad del jamón curado, lomo curado y

músculo curado disminuyeron a medida que disminuyó X y/o a_w . No hubo efecto del tipo de músculo (*semimembranosus* vs *biceps femoris*) sobre los parámetros de textura en músculo curado. En jamón curado el músculo *semimembranosus* presentó mayor dureza que el *biceps femoris*. A valores de $X < 0,7$ la cohesividad tendió a ser mayor en músculo *biceps femoris*. La cantidad de NaCl añadida afectó significativamente ($P < 0,05$) la relación entre X y la dureza. Los músculos curados con mayor cantidad de NaCl añadido presentaron mayor dureza, cuando el $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ pero no cuando el $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$. Por el contrario, en jamón curado no hubo efecto directo de la cantidad de NaCl sobre los parámetros de textura, pero sí sobre el índice de proteólisis. Los jamones curados con altos valores de índice de proteólisis presentaron menor dureza, mayor cohesividad y elasticidad que aquellos jamones curados con valores bajos de índice de proteólisis. La determinación continua del valor de X en la superficie del jamón y lomo curado puede permitir regular los parámetros de secado (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) para mantener el valor de X en la superficie por encima del valor crítico de aproximadamente 0,6 para jamón curado y de 0,8 para lomo curado y lograr con ello evitar el encostrado y mejorar la calidad del secado.

ABSTRACT

The aim of the present Doctoral Thesis was to determine the relationship between the composition parameters: water activity (a_w), water content (X), NaCl content, pH level and relationship non-protein nitrogen/total nitrogen with the parameters of instrumental texture in dry-cured muscles of pork and dry-cured hams. Four experiments were carried out. No previous work studying these relationships in dry-cured meat products at different levels of drying was found. Therefore, two preliminary experiments were carried out to define the methodology to be used and to establish the experimental design of the subsequent experiments. The experiment 1 had as objective to describe the relationship between texture parameters (hardness, chewiness, cohesiveness and springiness) of dry-cured ham and its X and a_w . For this experiment, samples from the muscle *biceps femoris* at different drying levels were used. The experiment 2 had as objective to describe the profiles of a_w , X and texture in crusted dry-cured loin versus non-crusted dry-cured loin. It also looked at the relationship of these parameters in another muscle of different anatomical situation, in this case the muscle *longissimus dorsi*. The experiments 3 and 4 had as objective to determine the effect of the NaCl content, pH level and non-protein nitrogen on the relationship between X and the hardness, cohesiveness and springiness in dry-cured muscles after curing for 45 days (experiment 3) and in dry-cured ham aged for 289 days (experiment 4). The relationship between X and a_w with hardness in dry-cured ham and in dry-cured loin was non linear. Hardness increases when X and/or a_w decreases. However, for X values under 0.6 kg water/kg dry matter and a_w values under 0.7, the hardness of dry-cured ham increased dramatically. This large increase would explain the crust formation on the lean surface of the ham. This substantial increment of the hardness occurred approximately to equal X value in muscle *biceps femoris* and *semimembranosus* of dry-cured muscle curing for 45 days but was different to that observed in dry-cured loin. The relationship between X and a_w with cohesiveness and springiness was linear. The cohesiveness and springiness of dry-cured ham and dry-cured loin diminished when X and/or a_w diminished. There was no effect of the type of muscle (*semimembranosus* vs *biceps femoris*) on texture

parameters in dry-cured muscles. In dry-cured ham the *semimembranosus* muscle presented higher hardness than the *biceps femoris*. The cohesiveness tended to be higher in muscle *biceps femoris* than *semimembranosus* muscle to $X < 0.7$. The NaCl content affected significantly ($P < 0.05$) the relationship between X and hardness. The dry-cured muscle with higher NaCl content presented higher hardness, when the $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5.7$ but not when the $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6.2$. On the other hand, in dry-cured ham there was no direct effect of the NaCl content on the relationship between X and texture parameters, but there was an effect on the proteolysis index. The dry-cured hams with higher proteolysis index presented smaller hardness, higher cohesiveness and springiness than those dry-cured hams with lower proteolysis index. On line methods to determine the X value at the surface of dry-cured ham and dry-cured loin could be useful for monitoring parameters of drying (temperature, relative humidity and air velocity) and therefore for maintaining the X value at the surface above the critical value of approximately 0.6 for dry-cured ham and of 0.8 for dry-cured loin. This control on the X value could avoid crusting and therefore improve the drying quality.

RESUM

Els objectius d'aquesta Tesi Doctoral són determinar la relació entre els paràmetres de composició: activitat d'aigua (a_w), contingut d'aigua (X), contingut de NaCl, pH de la matèria primera i relació nitrogen no proteic/nitrogen total amb els paràmetres de textura instrumental en músculs de porc i pernil curat. Per això es van realitzar quatre experiments. Com que no s'han trobat treballs previs que hagin estudiat aquest tipus de relacions en els productes carnis crus curats a diferents nivells d'assecat es van dur a terme dos experiments preliminars per tal de definir la metodologia a emprar i que van permetre establir el disseny experimental dels experiments posteriors. L'experiment 1 va tenir com a objectiu determinar la relació entre els diferents nivells de a_w i de X amb els paràmetres de textura (duresa, mastegabilitat, cohesivitat i elasticitat) en mostres del múscul *biceps femoris* de pernils curats amb diferents graus d'assecat. L'experiment 2 va tenir com a finalitat comprovar aquest tipus de relació en un producte de curació curta (llom curat), establir els perfils de textura, a_w i X en un producte carni encrostat, observar la relació d'aquests paràmetres en un altre múscul de posició anatòmica diferent de la cuixa, en aquest cas el múscul *longissimus dorsi*. Els experiments 3 i 4 van tenir com a objectius la determinació de l'efecte del contingut de NaCl afegit, el pH de la matèria primera i de nitrogen no proteic del producte final sobre la relació entre X i la duresa, la cohesivitat i l'elasticitat en músculs secs curats, madurats 45 dies (experiment 3) i en pernil curat madurat 289 dies (experiment 4). La relació de X i a_w amb la duresa en el pernil curat i el llom curat va ser no lineal. La duresa va augmentar a mesura que disminuïen X i a_w . Per sota de valors de X de 0,6 kg H₂O/kg matèria seca i a_w de 0,7, la duresa del pernil curat va augmentar de manera important la qual cosa es podria relacionar amb el fenomen de l'encrostat que s'observa en l'exterior del pernil curat. Aquest increment important de la duresa va tenir lloc aproximadament a un mateix valor de X en el múscul *biceps femoris* i el *semimembranosus* curats durant 45 dies però va ser diferent a l'observat en el llom curat. La relació de X i a_w amb la cohesivitat i l'elasticitat va ser lineal. La cohesivitat i l'elasticitat del pernil curat, del llom curat i del múscul curat van

disminuir a mesura que ho feien X i/o a_w . No hi va haver un efecte del tipus de múscul (*semimembranosus* vs *biceps femoris*) sobre els paràmetres de textura en el múscul curat. En el pernil curat el múscul *semimembranosus* va presentar una major duresa que el *biceps femoris*. La cohesivitat va tendir a ser major en el múscul *biceps femoris* per a valors de $X < 0,7$. La quantitat de NaCl afegida va afectar significativament ($P < 0,05$) la relació entre X i la duresa. Els músculs curats amb una major quantitat de NaCl afegida van presentar una major duresa, quan el $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ però no quan el $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$. Contràriament, en el pernil curat no hi va haver cap efecte directe de la quantitat de NaCl sobre els paràmetres de textura, però sí sobre l'índex de proteòlisi. Els pernils curats amb valors alts d'índex de proteòlisi van presentar una menor duresa i una major cohesivitat i elasticitat que els pernils curats amb valors baixos d'índex de proteòlisi. La determinació contínua del valor de X a la superfície del pernil i del llom curat pot permetre regular els paràmetres d'assecat (temperatura, humitat relativa i velocitat de l'aire) per tal de mantenir el valor de X a la superfície per sobre del valor crític d'aproximadament $0,6 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$ matèria seca per al pernil curat i de $0,8 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$ matèria seca per al llom curat i així aconseguir evitar l'encrostat i millorar la qualitat de l'assecat.

CAPÍTULO

PRIMERO

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN

La textura es uno de los atributos sensoriales más importantes en el proceso de selección y consumo de los alimentos (Moskowitz y Jacobs, 1987; Szczesniak, 1968 y 2002; Szczesniak y Kleyn, 1963), y es uno de los criterios de calidad para la certificación del Jamón Serrano como Especialidad Tradicional Garantizada (ETG) (Fundación del Jamón Serrano, 1998).

La textura en el jamón curado depende de la materia prima utilizada y del proceso tecnológico efectuado (Guerrero y col., 1999). En relación a las características de la materia prima, se han estudiado los efectos del origen genético (Oliver y col., 1994; Gou y col., 1995; Guerrero y col., 1996), del contenido y composición de la grasa (Parolari y col., 1988; Ruiz-Carrascal y col., 2000), del pH (Arnau y col., 1998; Guerrero y col., 1999; Tabilo y col., 1999; Magraner y col., 2003; García-Rey y col., 2004), del potencial proteolítico (Virgili y col., 1995; Parolari y col., 1994; Schivazappa y col., 2002) y de la condición sexual de los cerdos de donde proviene la materia prima (Bañon y col., 2002;

Tabilo y col., 1999).

Los efectos de los parámetros tecnológicos estudiados han sido: la temperatura (Arnau y col., 1997; Martín y col., 1998), la cantidad de sal añadida (Arnau, 1991; Arnau y col., 1998; García-Garrido y col., 1999; Guerrero y col., 2000; García-Rey y col., 2004; Andrés y col., 2004), el tiempo de procesado (Monin y col., 1997; Buscailhon y col., 1994; Ruiz y col., 1998) y el contenido y la actividad de agua (Virgili y col., 1995; Monin y col., 1995; Gou y Comaposada, 2002).

Los problemas de textura más importantes que se han descrito en jamón curado son la excesiva blandura y/o textura pastosa (Arnau, 1991; Arnau y col., 1998; Parolari y col., 1994; Virgili y col., 1995; García-Garrido y col., 2000; García-Rey y col., 2004) y el encostrado (Arnau, 1998; García-Garrido y col., 1999; Flores, 2001).

El encostrado puede definirse como una capa superficial mucho más dura que el resto del producto. De forma táctil se percibe que al dejar de presionar con los dedos la capa superficial, ésta no recupera, y si la

presión es muy fuerte, incluso puede llegar a romperse.

El encostrado está relacionado con un alto nivel de secado en la parte externa mientras que la parte interna permanece aún con un alto contenido de humedad. La difusión del agua desde las zonas internas no compensa la deshidratación de la superficie y como consecuencia ésta se endurece y forma la costra (Flores, 2001).

Este defecto de calidad está contemplado en el apartado 4.1.2 (Índice de Secado) del pliego de condiciones de la ETG Jamón Serrano, en donde se indica que el gradiente de humedad entre la parte exterior y la central de la loncha no debe ser superior al 12%, y en el apartado 4.2.1 de Características Organolépticas donde se establece que la textura debe ser homogénea al corte y exteriormente no reseca (encostrado) (Fundación Jamón Serrano, 1998).

A pesar de la importancia de este problema en los productos crudos curados como p.e: jamón curado, no se han encontrado estudios que describan los perfiles de contenido de agua y /o actividad de agua que presentan los productos al encostrarse. Además, en los estudios realizados sobre el efecto

del contenido de NaCl y/o pH, es difícil separar el efecto del contenido de agua del efecto debido al contenido de NaCl o al pH.

Por otro lado, determinar la relación de la actividad de agua y el contenido de agua con los parámetros de textura permitiría fijar los valores óptimos de actividad de agua y contenido de agua necesarios para obtener una textura adecuada. Asimismo, el desarrollo de un sistema de medida «*on line*» del contenido de agua de la superficie del producto, permitiría predecir la textura de la superficie y relacionarlo con problemas tales como el encostrado.

Partiendo de estas premisas los objetivos en la presente Tesis Doctoral fueron los siguientes:

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar la relación entre parámetros de composición (actividad de agua, contenido de agua, NaCl, pH materia prima, relación nitrógeno no proteico/nitrógeno total) y parámetros de textura instrumental en productos

cárnicos crudos curados.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo de investigación fueron:

1. Determinar la relación de la actividad de agua y del contenido de agua con los parámetros de textura (dureza, masticabilidad, cohesividad y elasticidad) en jamones curados comerciales.
2. Describir los perfiles de actividad de agua, contenido de agua y textura de lomo encostrado *versus* no encostrado.
3. Describir el efecto del contenido de NaCl absorbida durante el salado y del pH_{SM24} de la materia prima sobre la relación entre contenido de agua y la dureza, cohesividad y elasticidad en músculos curados durante 45 días y en jamones de 289 días de curación.
4. Relacionar el contenido de NaCl y nitrógeno no proteico con la dureza, elasticidad y cohesividad en los músculos *biceps femoris* y *semi-membranosus* de músculo curado y jamón curado.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrés, A., Cava, R., Ventanas, J., Thovar, V. y Ruiz, J. (2004). Sensory characteristics of Iberian ham: Influence of salt content and processing conditions. *Meat Science*, 68, 45-51.
- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Tesis, Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Veterinaria, España.
- Arnau, J. (1998). Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. *Simposio Especial. 44th ICoMST*. Barcelona. 128-144.
- Arnau, J., Guerrero, L., y Gou, P. (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged for six months. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L. y Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 387-392.
- Bañón, S., Costa, E., Andreu, C., Gil M. D. y Garrido, M. D. (2002). Boar taint perception in cooked and dry-cured meat. *48th ICoMST*. Roma. 126-127.
- Buscailhon, S., Berdagué, J., Bousset, J., Cornet, M., Gandemer, G., Touraille, C. y Monin, G. (1994). Relations between traits and sen-

- sory qualities of French dry-cured ham. *Meat Science*, 37, 229-243.
- Flores, J. (2001). El encostrado del Jamón Serrano: causas de formación y maneras de evitarlo. *Revista de la Asociación de Industrias de la Carne de España*, 75, 5-10.
- Fundación Jamón Serrano. (1998). Pliego de condiciones para la elaboración del Jamón Serrano. Obtenido el 24 de Noviembre de 2003, de la Fundación Jamón Serrano sitio Web: <http://fundacionserrano.org/etg.asp>
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. y Luque de Castro, M. (2000). Activity of cathepsin B, D, H and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56, 1-6.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. y Luque de Castro, M. (1999). Sensory and analytical properties of Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Food Chemistry*, 67, 423-427.
- García-Rey, R., García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. y Luque de Castro, M. (2004). Relationship between pH before salting and dry-cured ham quality. *Meat Science*, 67, 625-632.
- Gou, P. y Comaposada, J. (2002). Parámetros implicados en el proceso de secado del jamón curado. *Eurocarne*, 105, 85-96.
- Gou, P., Guerrero, L. y Arnau, J. (1995). Sex and breed cross effects on dry-cured ham characteristics. *Meat Science*, 40, 21-31.
- Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., Guàrdia, D. y Arnau, J. (2000). Efecto de la disminución del contenido en sodio del jamón curado sobre sus propiedades sensoriales y reológicas. *II Symposium Internacional del Jamón Curado*. Barcelona. 94-94.
- Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P. y Arnau, J. (1996). Study of the physico-chemical and sensorial characteristics of dry-cured hams in three pig genetic types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70, 526-530.
- Guerrero, L., Gou, P. y Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and sensory textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.
- Magraner, L., Sánchez, J., Gisbert, M., Sanjuán, R. y López N. (2003). Influence of raw matter on final quality of serrano ham. en: *II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- Martín, L., Antequera, T., Córdoba, J., Timón, M. y Ventanas, J. (1998). Effects of salt and temperature in proteolysis during ripening of Iberian ham. *Meat Science*, 49, 145-153.
- Moskowitz, H. y Jacobs, B. (1987). Consumer evaluation and optimization of food texture. In H. R. Moskowitz, (Ed.), *Food texture*. New York: Marcel Dekker, Inc. 335
- Oliver, M.A., Gou, P., Gispert, M., Diestre, A., Arnau, J., Noguera, J.L. y Blasco, A. (1994). Comparison of five types of pig crosses. II. fresh meat quality and sensory characteristics of dry cured ham. *Livestock Production Science*, 40, 179-185.
- Parolari, G., Rivaldi, P., Leonelli, C., Bellati, M. y Bovis N. (1988). Colore e consistenza del prosciutto crudo in rapporto alla materia prima e alla tecnica di stagionatura. *Industria Conserve*, 63, 45-49.
- Parolari, G., Virgili, R., y Schiva-

- zappa, C. (1994). Relationship between cathepsin B activity and compositional parameters in dry-cured hams of normal and defective texture. *Meat Science*, 38, 117-122.
- Ruiz, J. Ventanas, J. Cava, R. Timón, M. y García, C. (1998). Sensory characteristics of Iberian ham: influence of processing time and slice location. *Food Research International*, 31, 53-58.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A. y García, C. (2000). Texture and appearance of dry-cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, 33, 91-95.
- Schivazappa, C., Degni, M., Nanni Costa, L., Russo, V., Buttazzoni, L. y Virgili, R. (2002). Analysis of raw meat to predict proteolysis in Parma ham. *Meat Science*, 60, 77-83.
- Szczesniak, A. (1968). Correlations between objective and sensory texture measurements. *Food Technology*, 22, 981-986.
- Szczesniak, A. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-225.
- Szczesniak, A. y Kleyn, D. (1963). Consumer awareness of texture and other food attributes. *Food Technology*, 17, 74-78.
- Tabilo, G. Flores, M. Fiszman, S. y Toldrá, F. (1999). Postmortem meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Soresi, C. y Borri, M. (1995). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60, 1183-1186.

CAPÍTULO

SEGUNDO

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. DESCRIPCIÓN DEL JAMÓN CURADO

1.1. Definición del jamón curado

El jamón curado es un producto cárnico perteneciente al grupo de las salazones cárnicas. Éstas se definen como «carne y productos de despiece no picados, sometidos a la acción adecuada de la sal común y demás ingredientes autorizados propios de la salazón, ya en forma sólida o salmuera, que garantice su conservación para el consumo». El Código Alimentario Español define al jamón curado como «producto cárnico elaborado mediante la salazón en seco con posterior desecación y maduración, de la extremidad posterior del cerdo, seccionada por la sínfisis isquio-pubiana, que conserva todos sus huesos, músculos, tejido adiposo de infiltración, vasos y nervios, así como una porción variable de la piel y el tejido adiposo de revestimiento» (Presidencia del Gobierno, 1967).

La elaboración de jamones curados constituye un modo de conservar la carne de cerdo que está extendido ampliamente por los países de la cuenca

mediterránea desde tiempos inmemoriales. Los aspectos históricos del jamón han sido tratados por González (1998), poniéndose en evidencia la larga tradición de producción y consumo y el aprecio popular por este producto.

1.2. Estructura y Composición

La extremidad posterior del cerdo (pernil) lo componen los huesos coxal, fémur, rótula, tibia, peroné, tarsos, metatarso y falanges y las masas musculares correspondientes a los músculos *biceps femoris*, *tensor fasciae latae*, *gluteus superficialis*, *medius* y *profundus*, *semitendinosus*, *semimembranosus*, *sartorius*, *pectineus*, *gracilis*, *quadratus femoris*, *obturatorius externus* e *internus*, *gemellus*, *quadriceps femoris*, *extensor digitorum longus* y *lateris*, *fibrularis lentius*, *tibialis cranialis*, *triceps surae*, *popliteus*, *flexor digitorum superficialis* y *profundus* y la grasa subcutánea de cobertura (Sisson y Grossman, 1982).

La composición del pernil es variable en función de la raza, condición sexual, edad y estado de engrasamiento. A continuación se presentan

los valores medios según Gou (1993).

Tabla 1. Composición del pernil

Grasa subcutánea	13,9%
Músculo	68,2%
Grasa intermuscular	3,8%
Hueso	8,7%

Gou (1993).

Por lo que se refiere a la composición química del músculo, Lawrie (1988) presenta los siguientes valores medios para un músculo típico de mamífero adulto.

Tabla 2. Composición química de músculo típico de mamífero adulto

Agua	75,00%
Proteína	19,00%
Nitrógeno no proteico	1,65%
Lípidos	2,50%
Minerales	0,65%
Carbohidratos	1,20%

Lawrie (1988).

1.3. Tipos de jamón curado

Existen varios tipos de jamones curados, a) jamones elaborados a partir de cerdo blanco y b) jamones elaborados a partir de cerdo Ibérico.

En cada uno de estos grupos existen varias subdivisiones (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de jamones

Jamones	Según procedencia	Según cruces genéticos
Cerdo blanco	Teruel Trevélez Andorrano Asturiano Burgos Ávila Acodado de Lugo Murciano Riojano	$(Lw \times L) \times D$ $(Lw \times L) \times L$ $Lw \times L$ $L \times D$ $Lw \times P$ $Lw \times D$
Cerdo ibérico	Salamanca Guijuelo Ledrada Huelva Jabugo, Cumbres Mayores Cortegana Cáceres Montánchez Piornal Badajoz Zafra Jerez de los Caballeros Fregenal de la Sierra	$Ib \times D$ 25-75% D

Lw: Large White; L: Landrace; D: Duroc; P: Pietrain; Ib: Ibérico. MAPA (1996).

2. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL JAMÓN CURADO

En las últimas décadas, la produc-

ción de jamón curado ha pasado a ser mayoritariamente industrial, aunque basada en los procesos de elaboración tradicionales. Actualmente se dispone de procesos mecanizados y de secaderos con control de temperatura y humedad relativa, consiguiéndose de este modo una producción a lo largo del año, con escasa dependencia de la climatología, con lo cual la maduración de los mismos puede realizarse en cualquier zona geográfica.

La elaboración del jamón curado comprende básicamente las siguientes etapas: salado, reposo o post-salado y secado/maduración (que puede incluir una fase de estufaje y una de bodega). La forma en que se llevan a cabo depende de varios factores que se relacionan con la materia prima y que definen y condicionan el período de cada etapa, así como sus condiciones particulares de temperatura y humedad.

A pesar de la diversidad de materias primas y modos de elaboración, la producción de jamón curado se basa en dos pilares fundamentales:

1.- Estabilización de la materia prima (pernil).

En esta etapa se persigue que un

producto perecedero se transforme en un producto estable a temperatura ambiente, evitando el desarrollo de microorganismos patógenos y alteraciones microbianas que conduzcan a la putrefacción del mismo. Esto se consigue en una primera fase que se denomina «etapa fría» y que corresponde con las dos primeras etapas: salado y post-salado o reposo.

2.- Desarrollo de las características sensoriales.

Por medio de las transformaciones químicas y enzimáticas de los componentes del jamón, principalmente proteínas y lípidos, se forman compuestos sápidos y aromáticos (Buscailhon y col., 1993; Careri y col., 1993; Flores y col., 1997; Toldrá y Flores, 1998; Ruiz y col., 1999), que conferirán al producto las características sensoriales de jamón curado. Estas reacciones se desarrollan en la segunda fase de la elaboración que se corresponde con la etapa de secado/maduración.

La tecnología para la producción de jamón curado es diferente según el país productor. A continuación se hace una descripción de la tecnología empleada en la fabricación de jamones

españoles.

2.1. Selección de la materia prima

En la selección de la materia prima hay que tener en cuenta:

a) La raza, la edad y la alimentación de los cerdos, que influyen sobre diversos factores, como la cantidad, composición y susceptibilidad a la oxidación de la grasa y la aparición de sabores, aromas y textura inadecuados (Arnau, 1991; Gou y col., 1995; Guerrero y col., 1996; Virgili y col., 1998; Armero y col., 1999; Arnau, 2000; Carrapiso y col., 2003).

La cantidad de grasa determinará, junto al tamaño de la pieza, la duración del proceso de secado.

b) Presencia de carnes DFD o PSE

Normalmente las piezas se clasifican según su peso y espesor de grasa subcutánea y en algunos casos se seleccionan por pH, eliminando aquellas con un pH mayor de 6,2 en el músculo *semimembranosus*.

Las carnes DFD deben ser rechazadas por ser más susceptibles al deterioro microbiano, por presentar texturas anómalas y precipitados de fosfato (Arnau y col., 1998). Además, el pro-

blema puede acentuarse debido a que las bacterias utilizan los aminoácidos como sustrato, que al degradarse pueden provocar olores pútridos (Newton y Gill, 1981). Mientras que para el procesado de las carnes PSE se debe tener en cuenta sus mayores pérdidas por goteo y la mayor absorción de sal (Arnau y col., 1995; Bañón y col., 1998; García-Rey y col., 2004).

c) Potencial proteolítico: no debe ser excesivamente alto para evitar problemas de textura pastosa y/o blanda (Arnau, 1991; Parolari y col., 1994; Virgili y col., 1995a; Arnau y col., 1998; García-Garrido y col., 2000).

Hay que procurar la rápida refrigeración de la pieza tras el sacrificio del cerdo y su pronta entrada en la fábrica. Se recomienda eliminar aquellas piezas que presentan petequias y hematomas, ya que afecta negativamente el aspecto del corte. Además, la sangre representa un caldo de cultivo para los microorganismos, y puede originar problemas de origen microbiológico siendo los más graves la putrefacción y el agriado (Cantoni y col., 1969; Arnau y Hugas, 1987; Marín y col., 1992; Paarup y col., 1999). Estos

problemas microbiológicos también se conocen con el nombre genérico de «cala» y afectan principalmente a la zona que rodea a la articulación coxo-femoral.

2.2. Preparación de la materia prima

Tras extraer el pernil de la canal, y después de haber sufrido el *rigor mortis*, los jamones pueden elaborarse con corteza, o en el caso de los perniles grasos, eliminarle parte de su corteza y grasa (corte en «V»).

Después se efectúa el desangrado mediante presión manual o mediante el empleo de la maquinaria adecuada, con la finalidad de extraer los restos de sangre que pudieran quedar en el interior de los vasos sanguíneos y que podrían favorecer el desarrollo posterior de microorganismos causantes de alteraciones. Estas operaciones se realizan en cámaras a bajas temperaturas (Hernández y Huerta, 1993).

2.3. Salado

La finalidad de esta primera etapa es la incorporación de cloruro sódico,

sales de curado (nitratos y nitritos) y coadyuvantes de las sales de curado (ascorbato, isoascorbato, azúcares) al pernil. Esta práctica contribuye a la inhibición de los microorganismos alterantes y patógenos. Además, el NaCl conferirá al producto su sabor salado y el nitrito su color rojo característico, al reaccionar con la mioglobina y formarse nitrosomioglobina, pigmento típico de la carne curada.

El salado se realiza actualmente utilizando dos tecnologías:

2.3.1. Apilado de los jamones recubiertos de sal

Para conseguir una temperatura uniforme los jamones son colgados durante 24 a 48 horas a una temperatura de 2 °C (Arnau, 1991) y seguidamente se aplica, por frotación, una primera capa de sal fina seca junto con las sales de curado, favoreciendo la mezcla con los líquidos exudados por la carne. La incorporación de coadyuvantes del curado como azúcares y ascorbato se ha hecho común, aplicándose conjuntamente con las sales de curado. Tras esta primera aplicación, los jamones, seleccionados en

función del peso, se apilan en la cámara de salazón, intercalando sal entre una pila de jamones y otra y cubriendo los espacios con sal. En los sistemas tradicionales, la altura de las pilas oscila entre 5 y 8 jamones como máximo.

Luego, los jamones en ocasiones son volteados consiguiéndose de este modo una distribución más homogénea de la sal. Actualmente, existe una tendencia al uso de contenedores apilables para la realización del salado. El tiempo de permanencia en salazón viene dado por el peso del jamón, estableciéndose de un día a día y medio por kilogramo de jamón fresco y un día por kg, menos dos ó tres días en jamón congelado (Arnau, 1993).

2.3.2. Aplicación mediante el uso de bombos de salado o masajeadoras

En este método, se añade una cantidad fija de sal y aditivos, durando el proceso hasta que cada jamón consiga la cantidad deseada de sal. En general, la duración oscila entre 2 y 4 semanas (Arnau, 1993).

La cantidad de sal a añadir es variable según si se deja o no evacuar

el agua exudada por los jamones.

Con el salado en bombo se cuantifica la sal, se ahorra mano de obra y se estandariza más el proceso porque se uniformiza la cantidad de sal añadida, que oscila entre 35 y 90 g/kg de jamón. La duración del masaje de salado, cuando se usan bombos discontinuos, es de 5-10 minutos (Arnau, 1991).

El factor principal que regula la velocidad de penetración de la sal es la formación de una salmuera saturada en la superficie de la carne (Poma, 1980), lo cual explica que la sal húmeda penetre más rápidamente que la seca.

Durante el salado se producen fenómenos de ósmosis y de difusión. Los primeros provocan la salida de agua del interior de la pieza. En los jamones, la sal penetra casi exclusivamente por la parte magra y es necesario que se difunda alrededor y dentro de los huesos.

Las condiciones termohigrométricas de las salas destinadas a la salazón deben conducir a la inhibición de microorganismos alterantes, así como a evitar una desecación externa del jamón que impediría la penetración de la sal hacia el interior de la pieza.

Según lo expuesto, la temperatura en las salas de salazón debe estar comprendida entre los 1 y 3 °C, y con una HR superior al 75% (Arnau, 2003).

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 pérdida de agua entre el 6 y el 10% (Arnau, 1993).

Si el sistema de salado es suficientemente uniforme, la pérdida de peso que tienen los jamones durante esta etapa puede servir como medida de predicción de la cinética de secado que vayan a tener, y por tanto puede servir para clasificar los jamones y de esta forma disminuir la variabilidad del proceso de secado (Gou y Comaposada, 2002).

2.4. Reposo (post-salado, asentamiento o estabilización)

Después del salado los jamones se lavan para eliminar el exceso de sal exterior, son cepillados y en algunos casos se aplican conservantes de tratamiento superficial para evitar la aparición del remelo, que se forma cuando

la velocidad de deshidratación es muy lenta, lo cual favorece la formación de sustancias poco solubles en la superficie del jamón, como el Na_2HPO_4 . Esta etapa tiene como finalidad el conseguir la distribución homogénea de la sal por el interior de la pieza, inhibir el crecimiento microbiano indeseable y canalizar los procesos bioquímicos de hidrólisis (lipólisis y proteólisis) que producirán el aroma y sabor característicos. A su vez se produce la eliminación paulatina del agua superficial, con lo cual las piezas van adquiriendo una mayor consistencia externa.

La HR ambiental es variable en función del secadero, velocidad del aire, carga, etc. Sin embargo, a inicios del post-salado, dado que el contenido de sal en la superficie es muy elevado es conveniente mantener la HR ligeramente por encima del 75%, para evitar la cristalización de la sal en la superficie y facilitar su difusión al interior del jamón (Arnau, 2003).

La temperatura de esta fase debe ser inferior a 5 °C hasta que en todos los puntos del jamón se haya alcanzado una actividad de agua inferior a 0,96, consiguiéndose así un producto

microbiológicamente estable (Leistner, 1986).

A este respecto, Paarup y col. (1999) observaron que una reducción de 5 a 2 °C provoca una disminución significativa de la tolerancia a la sal, de las enterobacterias, específicamente de cepas de *S. liquefaciens*, *E. cloacae* y *P. vulgaris*.

La duración de esta etapa se sitúa entre uno y tres meses. Cuanto más larga es esta etapa, menos problemas de cala se presentan en el producto acabado. En el jamón de Parma y en el jamón de cerdo ibérico, el reposo es prolongado, pudiendo llegar a los tres meses, en el primer caso debido a la baja concentración de sal y al gran tamaño de los jamones, y en el segundo a la lentitud en la penetración de sal ocasionada por el gran contenido de grasa intra e intermuscular.

Al final de la etapa de reposo, el jamón suele tener una merma acumulada del 10 al 15%.

2.5. Secado-maduración

La función de esta etapa es provocar la deshidratación e intensificar los procesos bioquímicos de proteolisis y

de lipólisis. Las temperaturas aplicadas son considerablemente mayores que en las anteriores etapas.

Durante esta etapa es conveniente disminuir la HR (< 75%) y aumentar la temperatura paulatinamente, para evitar la condensación de agua en la superficie que podría a su vez favorecer el remelo, por crecimiento de una flora indeseable (Arnau, 2003). El inicio se realiza a temperaturas inferiores a 15 °C, posteriormente se aumenta la temperatura hasta un máximo de 28-30 °C, aunque en algunos casos se alcanzan los 34 °C, límite máximo permitido para el jamón serrano (Fundación Jamón Serrano, 1998).

A la etapa de máxima temperatura se la suele denominar estufaje. Después del estufaje, los jamones son comercializados directamente o reciben un proceso de afinado en bodega, en aquellos casos en que el proceso de curación es muy largo. Este período final de maduración puede comprender un ligero descenso de la temperatura hasta unos 15 °C. En el caso del jamón de Parma, la temperatura media suele ser inferior a la del jamón español.

El tiempo y el incremento de temperatura se deben ajustar en función de la duración total, así en procesos de seis meses el incremento de temperatura suele ser más rápido que en los de 12 meses.

La proteólisis y la lipólisis que se producen en esta etapa son importantes, ya que influirán de modo directo en la textura, el aroma y el sabor del jamón (Antequera, 1992; Careri y col., 1993; Buscailhon y col., 1994; Arnau y col., 1998; Flores y col., 1998; Toldrá, 1998; Toldrá y Flores, 1998; Guerrero y col., 1999; Martín y col., 2001; Cilla y col., 2005). Siendo la lipólisis más importante en el jamón ibérico, al tener mayor contenido de grasa intramuscular.

En esta etapa también se produce la fusión de la grasa del jamón, fenómeno conocido como «sudado» y que constituye una característica típica deseable del jamón español, la grasa fundida impregna las fibras musculares, quedando en ella buena parte de los compuestos responsables del aroma (Arnau, 1998).

En la etapa de secado los jamones suelen cubrirse de una capa de mohos de diferentes especies (Monte y col.,

1986; Hernández y Huerta, 1993; Núñez y col., 1996). La distribución del micelio del moho por la superficie del jamón no es homogénea, distribuyéndose en mayor medida en la superficie no cubierta por la grasa de cobertura. El secado en atmósfera de nitrógeno podría evitar el crecimiento fúngico y eliminar al mismo tiempo la problemática que generan los ácaros, obteniendo como resultado un jamón con mayor seguridad. Se ha comprobado que la aplicación de una atmósfera de 100% nitrógeno durante 3 días causa la desaparición de las formas móviles de los ácaros (Guerrero y Arnau, 1995). Sin embargo, una baja concentración de oxígeno si bien frena el crecimiento de los microorganismos aerobios, puede favorecer el crecimiento de anaerobios y microbiota microaerófila. Por tanto, se precisa de un control de las condiciones de superficie para poder efectuar un proceso de secado con suficientes garantías de éxito.

Sánchez (2003) encontró un aroma típico muy pobre en jamón curado cuando éste fue envasado en atmósfera con un contenido reducido de oxígeno (2,1%) durante todo su proceso, desa-

consejando su utilización comercial al menos que se combine con un proceso que mejore el aroma (ahumado, etc.). Pero cuando el procesado en atmósfera modificada se realizó durante la última parte del proceso, el jamón curado obtuvo un flavor intermedio entre el producto tradicional y aquél procesado en atmósfera modificada durante todo el proceso.

2.6. Envasado

El envasado del jamón curado ofrece claras ventajas como son facilitar el corte y evitar las pérdidas de peso y los problemas de dípteros, coleópteros y ácaros (Sánchez 2003). Sin embargo, también puede producir inconvenientes como la migración de productos del plástico al jamón, el reblandecimiento excesivo de las partes externas, problemas de velo blanco, fermentación anómala y pérdidas de vacío por sellado deficiente o desprendimiento de gases (Arnau y col., 1987). De estos inconvenientes uno de los más comunes es el velo blanco. Este se forma en la superficie de corte, especialmente en los músculos con mayor contenido de humedad, al cabo

de unos pocos días de ser envasado al vacío (Arnau y col., 1987).

Hugas y col. (1987) utilizaron diferentes atmósferas para envasar jamones curados deshuesados, a fin de detectar los cambios y la influencia de estos gases sobre la microbiota existente y sobre la apariencia externa del producto. Los envasados en atmósfera de nitrógeno y los envasados en una mezcla de dióxido de carbono y nitrógeno, presentaron recuentos microbianos intermedios entre los envasados en dióxido de carbono al 100%, que obtuvieron los recuentos más bajos y los envasados en aire, que dieron el mayor recuento. La mejor apariencia externa correspondió a los jamones envasados en dióxido de carbono, seguidos de los envasados con nitrógeno y nitrógeno/dióxido de carbono. Los que presentaron peor apariencia fueron los envasados en aire.

Arnau y Casademont (1987) hallaron, en jamones curados envasados al vacío durante 87 días, un aumento del 6,27% de su humedad en la parte exterior y una disminución del 3,35% en su parte interna, debido a que el envase crea un ambiente cerrado que

no permite prácticamente pérdidas de humedad hacia el exterior de la bolsa. Al existir un gradiente de humedad se produce una migración de agua de las partes más húmedas a las más secas. Esto acarrea un cambio en la textura que produce un reblandecimiento de las partes externas, inicialmente más secas.

Por otro lado, García-Esteban y col. (2004) no encontraron diferencias claras en color, textura, contenido de humedad y estabilidad microbiológica, al comparar jamones curados almacenados por 8 semanas envasados al vacío y en atmósfera modificada (100% N₂ y 20% CO₂ + 80% N₂).

En los productos loncheados el proceso de uniformización de la textura tiene lugar cuando se produce un contacto entre las zonas secas y las zonas húmedas, o por la difusión del vapor de agua a través del espacio de cabeza en los productos loncheados que están envasados en atmósfera modificada.

3. TEXTURA DEL JAMÓN CURADO

La textura es un atributo sensorial muy complejo que abarca las impre-

siones que ocurren cuando el alimento contacta con la superficie de los dedos, la lengua o los dientes.

La palabra *textura* deriva del latín *textura*, que significa tejido, y originalmente se tomó en referencia a la estructura, sensación y apariencia de los tejidos. No fue hasta la década de los años 60 que se empezó a utilizar para describir la constitución, estructura o esencia de cualquier cosa en relación con sus constituyentes y/o elementos formativos (Rosenthal, 1999).

Según la norma internacional ISO 5492 (1992), la textura se define como «Todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y si es apropiado visuales y auditivos».

Más recientemente, Szczesniak (2002) define la textura como la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y de superficie de los alimentos, detectada a través de los sentidos de la visión, oído, tacto y cinestésico. Esta definición conlleva importantes conceptos tales como:

a) La textura es una característica

sensorial y, así, sólo un ser humano o un animal pueden percibirla. Los instrumentos de medida de la textura solamente pueden detectar y cuantificar ciertos parámetros físicos que luego deben interpretarse en términos de percepción sensorial;

- b) Es un atributo multiparamétrico;
- c) Se deriva de la estructura del alimento (molecular, microscópica o macroscópica); y
- d) Es detectado por varios sentidos, siendo el más importante el sentido del tacto.

La familiarización con un producto lleva consigo el conocimiento acerca de cómo cambia su textura y comportamiento durante el procesado y almacenamiento. Con el contacto continuo con un alimento específico, ciertos individuos han desarrollado una gran pericia, hasta tal punto que se han vuelto jueces expertos de la calidad de dicho producto. Un ejemplo de lo anteriormente expuesto ocurre con los jamones curados, donde las condiciones del secadero se reajustan en base al seguimiento de la evolución del producto que de forma discontinua hace el personal especializado. Estos individuos determinan la textura con mé-

todos de medida empíricos como es la sensación percibida con los dedos.

La textura del jamón serrano se debe por una parte al proceso de elaboración que éste sufre, el cual tiene una duración mínima de 7 meses. De esta forma se consigue una deshidratación paulatina de la carne que se transforma, a través de un conjunto de procesos bioquímicos, en un producto que se desea que tenga textura homogénea, poco fibrosa y sin pastosidad ni reblandecimiento. Por otra parte, la textura también se debe a las características de la materia prima utilizada en su elaboración.

El proceso de maduración de la carne se inicia después del sacrificio, debido mayoritariamente a la desnaturalización y a la rotura de proteínas (Ouali, 1990). Durante el salado, la sal absorbida aumenta la consistencia de la carne, y a lo largo del proceso de post-salado y secado continúan los procesos de proteolisis por un lado (Toldrá y Etherington, 1988; Sárraga y García-Regueiro, 1993; Córdoba y col., 1994), y la pérdida de agua por otro, que acentúa la insolubilización proteica (Greaser, 1986; Hermansson, 1986; Córdoba y col., 1994).

La textura final del jamón curado viene determinada por la dureza base de la materia prima y el efecto del proceso sobre dicha materia prima. La dureza final del músculo está claramente determinada por dos componentes: el componente miofibrilar, relacionado con la ultraestructura de las proteínas miofibrilares y el componente del estroma, relativo al contenido, composición y estructura del tejido conectivo. La grasa intramuscular afecta a la jugosidad y sabor directamente, e indirectamente a la dureza, mientras el contenido de agua afecta directamente a la jugosidad e indirectamente a la dureza (Jeremiah, 1978).

3.1. Factores que afectan a la textura del jamón curado

3.1.1. Materia prima utilizada

3.1.1.1. Origen genético

El origen genético del cerdo de donde proviene el jamón curado influye en su textura.

Investigadores como Gou y col. (1995) y Oliver y col. (1994) han en-

contrado mayor pastosidad y adhesividad en los jamones curados provenientes de cerdo con cruces con Duroc (DU) que en aquellos provenientes de cruces con Large White (LW) y el cruce Landrace Belga (BL)×(F1 Landrace (LR)×LW), siendo estos últimos de pastosidad intermedia.

La mayor pastosidad de los jamones curados provenientes de cruces DU se debe a una reducción de la relación NaCl / humedad provocada por el mayor contenido en grasa intramuscular e intermuscular que dificulta la difusión de agua y sal.

No obstante, Guerrero y col. (1996), encontraron mayor pastosidad y desmenuzabilidad en razas puras de Pietrain (Pi) y Landrace Belga (BL), debido, en parte, a la mayor conformación de estas razas que provoca un menor contenido de sal, durante las primeras etapas del proceso en el interior del jamón.

Con relación a la dureza, Gou y col. (1995) y Oliver y col. (1994) observaron menor dureza y mayor desmenuzabilidad sensorial en jamones del cruce BL×(LR×LW) que en los cruces LW×(DU×LW) y LW×(LR×LW).

3.1.1.2. Contenido y composición de la grasa intramuscular

El conocimiento que se tiene sobre el efecto del contenido y composición de la grasa sobre la textura de jamones curados es escaso y en ocasiones contradictorio. Parolari y col. (1988) hallaron una correlación negativa entre la dureza del jamón curado y el contenido de lípidos. Sin embargo, Buscailhon y col. (1994) no encontraron relación entre los parámetros de textura y la fracción lipídica. Más reciente, Ruiz-Carrascal y col. (2000) encontraron una correlación negativa entre la dureza sensorial y el contenido de grasa intramuscular y el de dos ácidos grasos monoinsaturados (oleico y palmitoleico), en concordancia con Parolari y col. (1988).

3.1.1.3. pH

En general, el pH inicial tiene un efecto importante sobre ciertas características del jamón curado. Estas características podrían ser determinadas sensorial e instrumentalmente al final del proceso o instrumentalmente en fases previas.

Arnau y col. (1998) y Guerrero y col. (1999) hallaron menor dureza y mayor brillo, desmenuzabilidad, pastosidad y adhesividad, en los jamones curados elaborados con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$, que aquellos con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,8$. Quizás debido al mayor grado de extracibilidad y funcionalidad (capacidad de retención de agua, solubilidad, viscosidad,...) de las proteínas de la carne con pH alto y al mayor contenido de humedad en el músculo *biceps femoris* de los jamones con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$; músculo utilizado en el análisis sensorial. Guerrero y col. (1999) también hallaron que los jamones con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,8$ presentaron mayor resistencia al corte (WB) que aquellos con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$. Este parámetro está relacionado con el componente miofibrilar, por lo cual se podría pensar que el pH_{SM24} afecta principalmente a este componente muscular.

Mientras, Magraner y col. (2003) encontraron mayor dureza y pastosidad en los jamones curados con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 5,6$ y $< 6,0$, que en aquellos con $\text{pH} \leq 5,6$. Estos autores atribuyen este comportamiento a que un $\text{pH}_{\text{SM24}} \leq 5,6$ favorece una mayor actividad enzimática proteolítica, la cual está

asociada con altos contenidos de nitrógeno no proteico.

Por otro lado, García-Rey y col. (2004) establecieron que jamones curados con $\text{pH}_{\text{SM}} < 5,55$ (medido antes de la salazón) son más propensos a presentar textura pastosa (84,4% de aparición) que aquellos con $\text{pH}_{\text{SM}} > 5,55$ (15,6%).

Con respecto al efecto del pH sobre la cohesividad y la elasticidad, Guerrero y col. (1999) encontraron una menor cohesividad instrumental, en jamones curados a los 45 días de proceso con $\text{pH}_{\text{SM}24} > 6,2$ que en aquellos jamones con $\text{pH}_{\text{SM}24} < 5,8$. No obstante, Tabilo y col. (1999) no encontraron diferencias para cohesividad y elasticidad instrumental al comparar jamón curado con pH_{SM} normal ($\text{pH}_{\text{SM}2} > 5,8$ y $\text{pH}_{\text{SM}24} < 6,0$) y jamón con $\text{pH}_{\text{SM}24} > 6,0$.

Otro inconveniente que se presenta al utilizar materia prima con pH alto en la elaboración de jamones curados es que necesitan mayor tiempo de secado para disminuir su contenido de humedad y en alcanzar la textura deseada. Además, presentan una superficie más rugosa que los de pH bajo, debido a que el tejido magro es

mas fácilmente deformado y los cristales de fosfato que se forman en la superficie contribuyen a formar una corteza seca que hace difícil una retracción uniforme (Arnau y col., 1998).

Las carnes PSE utilizadas para elaborar jamón pueden provocar mermas superiores (Arnau y col., 1995) y una consistencia interior más blanda como consecuencia de una mayor actividad proteolítica.

3.1.1.4. Potencial proteolítico

Durante el proceso de fabricación del jamón curado, tienen lugar una serie de procesos proteolíticos que condicionan el aroma, la textura y el sabor típico del producto final (Rosell y Toldrá, 1998; Toldrá y Flores, 1998; Costell y Flores, 1984). Una materia prima con un alto potencial proteolítico, debido a un incremento de los niveles residuales de catepsina B, puede dar lugar a una deteriorada propiedad mecánica de las proteínas y como resultado una textura excesivamente blanda (Virgili y col., 1995b).

El potencial proteolítico es una medida que tiene un elevado interés,

ya que permitiría evitar aquellos jamones que son susceptibles de dar lugar a una textura pastosa por exceso de proteolisis. Sin embargo, los métodos actuales de medida (Parolari y col., 1994) sólo son aplicables a un reducido número de muestras y difícilmente se pueden aplicar para la selección de jamones frescos.

La proteolisis en el jamón curado se evalúa desde hace décadas, por el incremento de la relación nitrógeno no proteico/nitrógeno total (NNP/NT) (Ambanelli y col., 1968; Cantoni y col., 1972). Dicha relación se denomina índice de proteolisis y está asociado con las propiedades sensoriales del jamón curado, tales como la pastosidad y/o textura blanda (Parolari y col., 1994; Virgili y col., 1995; Guerrero y col., 1999; Guerrero y col., 1996).

El índice de proteolisis en jamones curados está influenciado por el pH (Gil y col., 1989; Arnau y col., 1994; Schivazzapa y col., 2002; García-Rey y col., 2004), la actividad proteolítica endógena (Virgili, y col., 1995), la concentración de NaCl (Flores y col., 1983; Sárraga y col., 1989; Toldrá y col., 1993), la actividad de agua y la

temperatura (Arnau y col., 1997; Martín y col., 1998).

Así tenemos que bajos valores de pH y de contenidos de NaCl, se asocian con mayor proteolisis en el jamón curado ya que favorecen la actividad de las catepsinas (Arnau y col., 1998). Un bajo pH favorece la liberación de estas enzimas de los lisosomas y, así, su actividad (O'Halloran y col., 1997).

En contraste, un pH alto resulta en una menor liberación de las catepsinas B + L desde los lisosomas (Ertbjerg y col., 1999) y está asociado con una baja concentración de NNP, (Arnau y col., 1998; Guerrero y col., 1999 y Schivazzapa y col., 2002).

Sin embargo, la posibilidad de limitar la proteolisis excesiva utilizando carnes con pH altos, es inapropiada debido a que los jamones curados de perniles con pH altos también presentan una textura inadecuada (Arnau y col., 1998; Guerrero y col., 1999).

3.1.1.5. Condición sexual

Bañon y col. (2002) encontraron menor dureza sensorial en jamones curados provenientes de cerdos castra-

dos que en aquellos provenientes de machos enteros, señalando que este comportamiento pudo ser debido a la menor cantidad de grasa de los machos enteros. Por otra parte, Tabilo y col. (1999) encontraron mayor dureza en jamones curados provenientes de machos enteros que en aquellos provenientes de hembras y lo atribuyeron al hecho de que los jamones curados de hembras presentaron mayor contenido de humedad que los machos enteros.

3.2.2. Proceso tecnológico

3.2.2.1. Temperatura y humedad relativa

La temperatura es importante durante el procesado del jamón curado ya que durante la fase de salado y reposo sirve como barrera para el crecimiento microbiano (Leistner, 1986), y posteriormente afecta la proteólisis y el desarrollo de algunas notas de flavor (Arnau y col., 1997; Parolari y col., 1994).

La temperatura tiene un efecto doble sobre la textura, por un lado afecta a la velocidad de secado, espe-

cíficamente a la difusividad del agua en el interior del producto y al contenido de agua de la superficie en equilibrio con la atmósfera y por otro facilita la actividad de los enzimas proteolíticos (Arnau y col., 1997; Martín y col., 1998).

Una temperatura elevada provoca una deshidratación más rápida debido a la mayor movilidad que tienen las moléculas de agua y a la mayor capacidad de aceptación de vapor de agua que tiene el ambiente. Cuanto menor es la HR, mayor es la pérdida de peso, puesto que se establece un gradiente de humedad entre el producto y el medio ambiente, que favorece la pérdida de agua.

El efecto de aumentar la difusión interna del agua al aumentar la temperatura es más importante al inicio del secado que al final del mismo. Sin embargo, el aumento de la temperatura está limitado por criterios microbiológicos y por el aumento de la incidencia de jamones excesivamente blandos (Gou y col., 2004).

En jamones magros de poco espesor y contenido de sal elevado, una temperatura de secado elevada puede tener interés para facilitar la ac-

tividad de los enzimas proteolíticos, necesaria en cierta medida, que está frenada por el alto contenido de sal (Sárraga y col., 1989). No obstante, en jamones grandes o muy conformados con un bajo contenido de sal y elevado potencial proteolítico, el efecto de una temperatura elevada puede resultar perjudicial para la textura, debido a que, se favorece una proteólisis excesiva, especialmente en las zonas donde la humedad es más alta y el contenido de sal inferior. En este caso, si se requiere disminuir la incidencia de jamones blandos, es recomendable disminuir la temperatura media de proceso y alargar el tiempo de procesado (Arnau y col., 2003a).

La humedad relativa determina el contenido de agua de la superficie del jamón y la flora microbiana superficial. Durante el secado pueden recomendarse valores inferiores al 75% ya que con ello se facilita el sudado de la grasa (Arnau y Gou, 2001).

Se ha observado que una HR elevada durante la etapa de post-salado, origina cambios en la composición de la superficie del jamón y disminuye el sudado de la grasa durante esta etapa, haciendo que

el magro esté menos protegido en etapas posteriores frente al encostrado (Arnau y col., 2003b).

Las condiciones ambientales del secadero deben estar muy relacionadas con las de la superficie del jamón, por lo tanto las sondas de control deben ser fiables, debe efectuarse una buena distribución de los jamones y de la circulación del aire que homogenice la HR y la temperatura ambiental, para evitar la estratificación (Taberna, 2003).

La HR de la cámara de salado debe ser superior al 75% para evitar que se seque la sal. A inicios del post-salado, no es conveniente disminuir la HR por debajo del 75%, ya que el contenido de sal en superficie es muy elevado. Con ello, se evita la cristalización de la sal en superficie y se facilita su difusión al interior del jamón. Si la HR es igual al 75% se logra una solución saturada de sal en la superficie, con lo cual se obtiene el máximo gradiente para su difusión. Sin embargo, a medida que disminuye el contenido de agua puede disminuir su difusividad efectiva (Okos y col., 1992) y la de la sal. Si la HR es mayor del 85% se produce un crecimiento importante de

la flora externa y aumenta el riesgo de formación de limo superficial (remelo) que puede dar lugar al encostrado posterior del jamón. Teniendo en cuenta todos estos factores parece recomendable emplear un valor de HR entre 75% y 80%, ya que permite un buen secado, frena el crecimiento de la flora externa, evita la cristalización de la sal en superficie y facilita el sudado posterior de la grasa en la superficie del jamón (Arnau y col., 2003a).

Durante la etapa de secado-maduración es conveniente disminuir la HR y aumentar la temperatura paulatinamente, de forma que se evite la condensación de agua en la superficie que podría favorecer el remelo por crecimiento de una flora indeseada.

3.1.2.2. Contenido de agua, actividad de agua y sal añadida

Durante las últimas décadas existe un interés creciente en conocer el papel del agua en los productos cárnicos elaborados a partir de piezas musculares, especialmente durante su procesamiento (Toldrá, 2003). Mucha del agua que se encuentra en el músculo está localizada dentro de las

miofibrillas y en los espacios entre los filamentos gruesos y delgados. Parte de esta agua se presenta en forma libre mientras que el resto está unida a las proteínas.

La humedad va disminuyendo a lo largo del proceso de curado del jamón, esta disminución implica un descenso de la actividad de agua (a_w) y por tanto un menor riesgo de alteración por los microorganismos. La tasa de secado en los productos cárnicos crudos curados depende de la transferencia de masa desde el interior del producto a la superficie y desde la superficie del mismo hacia el exterior, la transferencia externa depende a su vez de la HR, la temperatura, la velocidad del aire, la presión y del área y propiedades de la superficie expuesta (Daudin y Swain, 1990), mientras que la transferencia interna depende de las propiedades intrínsecas del producto, como por ejemplo, dirección de la fibra muscular (Godsalve y col., 1977; Thorvaldsson y Skjöldbrand, 1996; Gou y col., 2002), el contenido de grasa (Palumbo y col., 1977, Mulet y col., 1992) y el contenido de agua (Ruiz-Cabrera y col., 2004).

La correlación experimental entre

dureza y contenido de agua en jamones curados ha sido estudiada por varios investigadores. Virgili y col. (1995b) y Monin y col. (1995) encontraron una correlación negativa entre el contenido de agua y la dureza en jamones curados. A su vez, Tabilo y col. (1999) hallaron en jamones curados provenientes de hembras menor dureza que en los jamones provenientes de machos enteros debido quizás a su mayor contenido de humedad (57,0 *versus* 53,2%).

Contrariamente, Ruiz-Carrascal y col. (2000) no encontraron relación del contenido de agua con la dureza sensorial en jamón ibérico, en el intervalo de contenido de agua de 19,98 a 49,81% y de grasa intramuscular de 4,52 a 14,66%.

Las isothermas de sorción son representaciones gráficas de la relación entre la actividad de agua del alimento y el contenido de agua en equilibrio con el aire que rodea el producto. Por tanto es de suponer que si la dureza está relacionada con el contenido de agua, podría también estarlo con la a_w .

La a_w es un término que refleja la disponibilidad de agua que existe en un alimento para reacciones bioquí-

micas y el crecimiento microbiológico. Se define como la HR del aire en equilibrio con el producto (Fenemma, 1982). Por lo tanto, la a_w es muy útil para predecir los cambios bioquímicos en los alimentos (Van den Berg y Bruin, 1981).

En la Figura 1, se muestran los intervalos aproximados, de la relación entre la a_w , en que tiene lugar la aparición de problemas de textura en jamón curado (Gou y Comaposada, 2002). La a_w en la superficie de los productos cárnicos depende de la HR del aire de secado y de la relación entre transferencia interna y transferencia externa (Gou y col., 2003).

Existe una relación entre la a_w del alimento y su contenido de agua. Esta relación está representada por las isothermas de sorción. Comaposada y col. (2000) pusieron de manifiesto el efecto del contenido de sal y de la temperatura sobre las isothermas de sorción en muestra de carne.

Por tanto, los parámetros del proceso de secado pueden ser utilizados para mantener el valor de a_w o de X , en la superficie por encima de valores críticos que puedan ocasionar el encostrado.

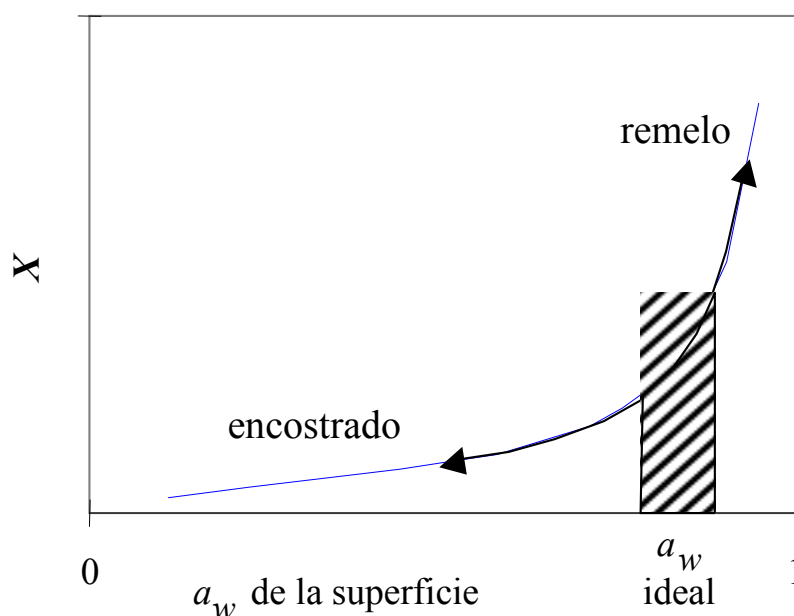


Figura 1. Relación de la a_w con la aparición de encostrado y remelo. Gou y Comaposada (2002).

La a_w también juega un papel importante en la actividad de ciertas enzimas. Toldrá (1992) señala que al disminuir la a_w disminuye de forma importante la actividad de la catepsina H y en menor grado la catepsina B, enzimas que intervienen en los procesos proteolíticos que sufre el jamón curado durante su maduración.

La adición de NaCl es necesaria para la estabilidad microbiológica del jamón curado ya que actúa como bacteriostático para la mayoría de microorganismos patógenos y putrefactores (Sofos, 1983). También juega un rol fundamental en el desarrollo de su tex-

tura y en su sabor (Arnau, 1991; Arnau y col., 1998, Guerrero y col., 2000; García-Garrido y col., 1999; García-Rey y col., 2004 y Andrés y col., 2004).

Sin embargo, la ingesta excesiva de sodio se asocia con la incidencia de hipertensión (Dahl, 1972; Law y col., 1991), siendo ésta la principal razón para su reducción en los productos cárnicos. La cantidad de NaCl debe ser desde el punto de vista sensorial y nutricional no demasiado alta, y desde el punto de vista microbiológico no excesivamente baja. Leistner (1985) establece que un 4,5% de NaCl en jamón

curado es suficiente para que ejerza su función conservante, e indica que superar un 6% es innecesario e indeseable. Baldini y col. (1984) y Roca y col. (1989) establecen que para poder reducir la cantidad de NaCl en jamones curados, ésta debería distribuirse rápida y homogéneamente durante las etapas de salado y reposo. En los jamones el NaCl penetra casi exclusivamente por la parte magra (carne) y es necesario que se difunda alrededor del hueso. El NaCl a concentraciones superiores al 5% en el músculo provoca el efecto «salting out», donde los Cl⁻ presentes en la sal compiten con los grupos reactivos de las proteínas cárnicas por la unión con el agua, al existir mayor cantidad de Cl⁻, el agua se une a ellos y se provoca la deshidratación de la carne, se reduce el espacio entre las fibras, se desnaturalizan las proteínas y el músculo adquiere firmeza (Brewer, 2004).

Los jamones curados salados a diferentes niveles muestran diferentes características de textura. La pastosidad del músculo *biceps femoris* de jamones curados incrementa cuando el contenido de NaCl disminuye (Arnau, 1991, Arnau y col., 1998; García-

Garrido y col., 1999; Guerrero y col., 2000; García-Rey y col., 2004) debido a un incremento en la actividad proteolítica.

Guerrero y col. (2000) encontraron una disminución en la dureza cuando el NaCl añadido fue reducido de 60 g/kg a 48 o 36 g/kg, debido a un aumento de la proteólisis como consecuencia de la disminución de NaCl y por el efecto de la NaCl sobre las propiedades de las proteínas cárnicas (Hortós, 1995).

Guerrero y col. (2000) afirman que las diferencias encontradas entre la pastosidad y adhesividad en los jamones podrían ser debido a que una mayor concentración de NaCl provoca un menor grado de funcionalidad de las proteínas de la carne.

Similar efecto de la reducción de NaCl sobre la dureza fue hallado por Andrés y col. (2004) quienes encontraron una disminución en la dureza sensorial en músculos *biceps femoris* de jamones curados ibéricos cuando el NaCl fue reducido de un 6 a un 3%.

Sin embargo, Arnau y col. (1998) no encontraron diferencias significativas sobre la dureza evaluada sensorialmente al comparar músculos *biceps*

femoris de jamones curados con un 18,9% de NaCl *versus* 24,8% de NaCl en base seca.

Por otro lado, un aumento del contenido de NaCl provoca una mayor reducción del brillo y de la pastosidad en jamones de pH alto que en los de pH bajo (Arnau y col., 1998).

No obstante, en todos estos estudios es difícil separar el efecto del contenido de NaCl del efecto del contenido de agua sobre los parámetros de textura.

3.1.2.3. Tiempo de procesado

El efecto del tiempo de procesado sobre la textura del jamón curado ha sido estudiado por varios investigadores. Monin y col. (1997) observaron un aumento en la dureza instrumental de los músculos *biceps femoris* y *semimembranosus* a medida que transcurría el tiempo de proceso. El músculo *semimembranosus* retornó a valores de dureza cercanos a los iniciales al final del proceso (251 días). La dureza fue mayor en el músculo *biceps femoris* que en el *semimembranosus* en los días 0 y 251 del proceso, mientras que se observó lo contrario a los

127 días.

La cohesividad en el músculo *semimembranosus* aumentó hasta el día 127 para disminuir posteriormente. La elasticidad aumentó desde el principio hasta el final del proceso en ambos músculos y la adhesividad no fue significativamente diferente entre músculos al día 0, pero aumentó durante el proceso mucho más en el *semimembranosus* que en el *biceps femoris*. Los cambios en masticabilidad según el tiempo de proceso fueron paralelos a los observados para la dureza. Los cambios en dureza y masticabilidad probablemente se deban al contenido de agua y al estado de las proteínas (Monin y col., 1997).

En el músculo *postmortem* la dureza se incrementa con la pérdida inicial de la solubilidad de las proteínas y luego disminuye con la degradación de la estructura miofibrilar (Ouali, 1990).

En el jamón curado la situación se complica por los cambios en el contenido de NaCl y agua. Sin embargo, se puede asumir que la dureza y masticabilidad aumentan durante los pasos iniciales del proceso debido a una disminución en la solubilidad de las proteínas y del contenido de agua, y

luego disminuye como consecuencia de la proteólisis progresiva.

Buscailhon y col. (1994) hallaron mayor firmeza sensorial en jamones curados franceses a los 273 días de proceso que a los 179 días. No obstante, Ruiz y col. (1998) en jamones ibéricos no encontraron diferencias en los parámetros sensoriales de textura (firmeza, dureza, sequedad y fibrosidad) según el tiempo de procesamiento. Quizás porque para los tiempos de procesos estudiados 420 y 600 días, los contenidos de humedad fueron muy parecidos (cerca de 40% de humedad en jamón de 420 días y casi 38% de humedad en el de 600 días).

3.2. Principales problemas de textura en jamón curado

Los principales defectos de textura en jamón curado son: el encostrado (Arnau, 1998; García-Garrido y col., 1999; Flores, 2001) y la textura pastosa y/o blanda (Arnau, 1991; Arnau y col., 1998; Parolari y col., 1994; Virgili y col., 1995b; García-Garrido y col., 2000; García-Rey y col., 2004).

Hoy en día se desea obtener un

producto con una textura uniforme y con la menor incidencia posible de jamones que estén excesivamente blandos en el interior o encostrados en el exterior. A continuación se describen estos dos problemas.

3.2.1. Encostrado

El encostrado se define como una capa superficial más dura que el resto del producto y con baja elasticidad. De forma táctil se percibe que al dejar de presionar con los dedos la capa superficial no recupera su forma original, y si la presión es muy fuerte, puede llegar a romperse. Este problema está relacionado con una mayor tasa de secado sobre la parte externa mientras que en la parte interna existe un elevado contenido de agua. La difusión del agua desde la zona interna no compensa la deshidratación de la superficie y en consecuencia ésta se endurece y se forma la costra (Flores, 2001).

Esto representa un problema para la certificación del Jamón Serrano como Especialidad Tradicional Garantizada (ETG), defecto de calidad contemplado en el apartado 4.1.2 (Índice de Se-

cado) del pliego de condiciones de la ETG Jamón Serrano en donde se indica que el gradiente de humedad entre la parte exterior y la central de la loncha no debe ser superior al 12%, y en el apartado 4.2.1 de Características Organolépticas establece que debe ser homogéneo al corte y no reseco exteriormente (encostrado) (Fundación Jamón Serrano, 1998).

El encostrado puede originarse debido a dos causas diferentes:

a) Un secado rápido de la superficie, en cuyo caso, la migración del agua del interior no es suficiente para compensar la deshidratación superficial.

b) La presencia de remelo (limo superficial que se forma en el reposo cuando la velocidad de deshidratación es muy lenta), el cual favorece la formación de sustancias poco solubles en la superficie del jamón, como el Na_2HPO_4 (Arnau, 2000).

El encostrado puede facilitarse por una materia prima muy magra, en la que el secado es muy rápido o por un pH elevado. Es recomendable evitar aquellos perniles que tengan un pH > 6,2, ya que además de ser más susceptibles al encostrado, presentan una

textura pegajosa desagradable, necesitan una pérdida de peso superior en el interior para tener la textura adecuada y confieren una sensación arenosa si se almacenan en refrigeración (Arnau y col., 1998).

3.2.2. Textura blanda y/o pastosa

La textura blanda y/o pastosa puede estar ocasionada por un pH elevado de la materia prima (Arnau y col., 1998), por el uso de una carne que posea un elevado potencial proteolítico (Parolari y col., 1994b; Virgili y col., 1995a), por un pH muy bajo (García-Rey y col., 2004), por la presencia de grasa intramuscular e intermuscular que dificulte el salado y secado, por un contenido de sal bajo o bien por una temperatura de procesado elevada (Arnau y col., 1997). En los jamones con textura pastosa suele observarse de forma simultánea un mayor brillo al corte. Es una problemática que ha aumentado en los últimos años, en parte debido a la disminución de la cantidad de sal añadida y quizás también a una mayor incidencia de carne con elevado potencial proteolítico. Aparte de la selección de la materia prima, la única for-

ma de frenar la incidencia de texturas pastosas consiste en actuar sobre aquellos parámetros que disminuyan la proteólisis (acelerar el salado y el secado, y disminuir la temperatura media de proceso) (Arnau, 1991).

3.3. Métodos utilizados para la determinación de la textura.

3.3.1. Métodos instrumentales

La medida instrumental de la textura de los alimentos no es algo reciente, Scout-Blair (1958) clasificó los métodos instrumentales utilizados para medir la textura de los alimentos en tres grupos:

3.3.1.1. Métodos fundamentales

Se utilizan para medir propiedades reológicas fundamentales de los alimentos como la viscosidad, el módulo de elasticidad o la relación de Poisson. Dentro de este grupo, los ensayos más habituales son los de relajación y los de compresión-descompresión.

Generalmente están poco correlacionados con las medidas sensoriales, ya que no suelen realizarse en las

condiciones habituales de consumo (Bourne, 1982).

3.3.1.2. Métodos empíricos

Miden parámetros normalmente poco definidos desde un punto de vista reológico. Dentro de este grupo los ensayos más habituales son los de penetrometría, punción, los de compresión y los de corte. Estos métodos miden propiedades de los productos a menudo no bien definidas y que no pueden expresarse fácilmente. Los resultados obtenidos son normalmente característicos para ese producto particular, bajo las condiciones experimentales utilizadas.

3.3.1.3. Métodos imitativos

Intentan imitar las condiciones en que se encuentran los alimentos en la boca. Dentro de este grupo, el Análisis de Perfiles de Textura (TPA), es el método que en los últimos años ha sido más utilizado para evaluar todo tipo de alimentos (Pons y Fiszman, 1996). El TPA fue desarrollado originalmente por la General Foods en la década de 1960 durante sus estudios

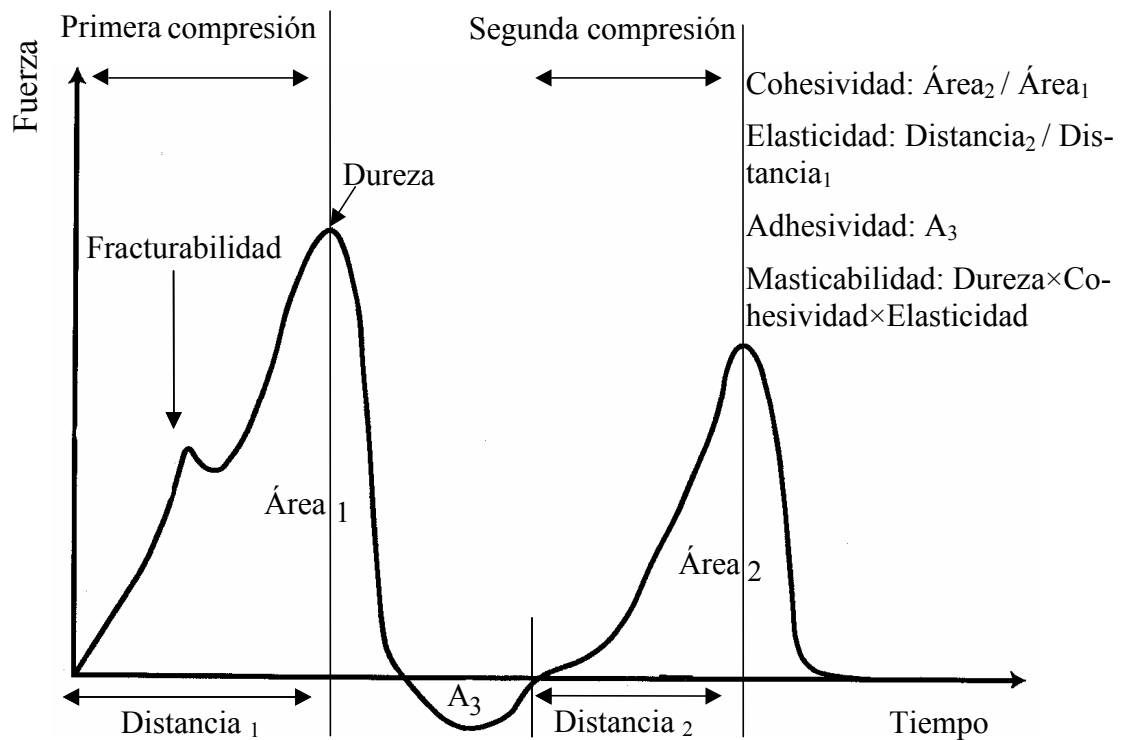


Figura 2. Gráfica producto del Análisis del Perfil de Textura.

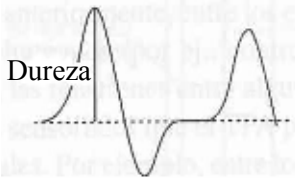
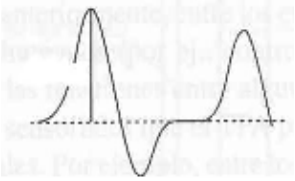
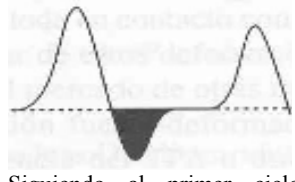
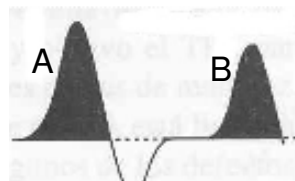
de correlación entre la evaluación sensorial y las medidas instrumentales de la textura del alimento (Szczesniak, 1963). El método se basa en la realización de dos ciclos de compresión-descompresión sucesivos sobre el alimento, imitando la acción de las mandíbulas (Figura 2). A partir de la curva obtenida se calculan los diferentes parámetros (Tabla 4).

Además, de los métodos reológicos existen otros métodos útiles para evaluar la textura en carne y productos cárnicos.

3.3.1.4. Métodos químicos y microscópicos

Descritos por Lewis (1993), los métodos químicos consisten en evaluar los cambios bioquímicos que sufre el alimento, muchos de los cuales tienen efecto directo sobre la textura. Se realizan, por ejemplo, análisis como la pectina soluble y sólidos totales insolubles, en frutas y vegetales, o pH y contenido y composición de lípidos en carnes y productos cárnicos. Los microscópicos examinan la estructura

Tabla 4. Parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA) y su relación con las características sensoriales

Parámetro	Definición sensorial	Definición Instrumental	Unidades
Propiedades primarias			
Dureza	Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares (Civille y Szczesniak, 1973)	 Fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión (Bourne, 1978)	Se expresa en unidades de fuerza kg, g, Newtons (Rosenthal, 1999)
Elasticidad	Es una medida de cuanto estructura original de la muestra se ha roto por la compresión inicial (Rosenthal, 1999)	 Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo = L_2/L_1 (Bourne, 1978)	Adimensional Una longitud dividida por otra longitud (Rosenthal, 1999)
Adhesividad	El trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie (Civille y Szczesniak, 1973)	 Siguiendo al primer ciclo de compresión, se elimina la fuerza cuando la cruceta se mueve hacia su posición original. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa se toma como una medida de la adhesividad de la muestra (Rosenthal, 1999)	No existen medidas reales de este parámetro, que se expresa en unidades del integrador interno del ordenador (Rosenthal, 1999). $kg \times s$ o $g \times s$
Cohesividad	La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento (Szczesniak, 1963)	 Se mide tomando el trabajo total dado en la muestra durante el segundo ciclo y dividiéndole por el trabajo dado durante el primer ciclo. El trabajo se mide como el área por debajo de las respectivas curvas = B/A (Bourne, 1978)	Adimensional (Rosenthal, 1999)

.....Continuación Tabla 4.

Propiedades secundarias

Fracturabilidad

La fuerza a la que el material se fractura. (Civille y Szczesniak, 1973)

Fracturabilidad



Es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión (Bourne, 1978). Producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad (Szczesniak, 2002).

Se expresa en unidades de fuerza
kg, g,
Newtons
(Bourne, 1978)

Masticabilidad

La energía requerida para desintegrar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado (Civille y Szczesniak, 1973)

= Dureza × Cohesividad × Elasticidad kg

Gomosidad

La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado (Civille y Szczesniak, 1973)

= Dureza × Cohesividad kg

Tabla 5. Instrumentos y métodos utilizados en el análisis de textura en jamón curado

Método	Equipo	Referencia
TPA	TA-XT2i	Bonilla y col. (2002)
W. BRATZLER	TA-XT2i	
TPA	TA-XT2	Guerrero y col. (2000)
TPA	TA-XT2	Tabilo y col. (1999)
TPA	TA-XT2	Guerrero y col. (1999)
W. BRATZLER	INSTRON4301	
PUNCIÓN	INSTRON 4301	
COMPRESIÓN	INSTRON 4301	

de los productos o alimentos con el microscopio. Este autor menciona el uso de esta técnica para productos tales como emulsiones, productos lácteos, carne y pescado.

3.1.1.5. Métodos fisiológicos

Son aquellos que miden la actividad fisiológica durante el proceso de comer, tales como el movimiento de la mandíbula, la actividad muscular (electromiografía) y los sonidos producidos durante la masticación (gnatósónicos).

Boyar y Kilcast (1986) evaluaron panelistas conectados a un electromiógrafo comiendo jaleas de gelatina y carragenato. Mediante integración de la altura del pico del electromiógrafo durante la masticación se obtiene una apreciación de la actividad total del músculo. En el caso de la gelatina, la fuerza asociada durante la masticación aumentó durante el primer par de segundos y luego empezó a descender a medida que el gel era dispersado en la saliva, fundiéndose y disolviéndose inmediatamente. Los geles de carragenato tardaron más tiempo en disolverse en la boca.

3.1.1.6. Métodos basados en la velocidad de los ultrasonidos

Llull y col. (2002) utilizaron la velocidad ultrasónica como una medida indirecta de la textura en Sobrasada. Estos autores concluyen que el incremento en la velocidad ultrasónica está relacionado con los parámetros texturales medidos instrumentalmente e indican que la técnica ultrasónica podría ser un método fiable y no destructivo para determinar las propiedades de textura de los productos cárnicos, entre los cuales está el jamón curado, a pesar de que las medidas de la velocidad ultrasónica se ven afectadas por la temperatura.

Los principales métodos y equipos empleados en el análisis de la textura en jamón curado, se mencionan en la Tabla 5.

3.1.2. Métodos sensoriales

La evaluación sensorial de los productos cárnicos crudos curados comienza antes de que se coloquen en la boca. Si se dice que el primer bocado se realiza con los ojos, el segundo se efectúa con las manos mientras se

Tabla 6. Descriptores sensoriales de textura utilizados en jamón curado

Descriptores	Definición	Referencia
<i>Piezas Enteras</i>		
Dureza	Fuerza requerida para deformar un trozo de jamón entre los molares.	Ruiz-Carrascal y col. (2000) Arnau y col. (1998) Gou y col. (1995) Guerrero y col. (2004)
Jugosidad	Cantidad de jugo liberado durante la masticación.	Bañon y col. (2002) Ruiz-Carrascal y col. (2000)
Pastosidad	Sensación de pasta en la boca similar a la producida por mezclas de harina y agua.	Arnau y col. (1998) Gou y col. (1995)
Fibrosidad	Sensación de fibras o hilos durante la masticación del producto.	Ruiz-Carrascal y col. (2000)
Desmenuzabilidad	Grado en el que el producto se deshace en partículas numerosas y pequeñas.	Arnau y col. (1998) Gou y col. (1995) Guerrero y col. (1999)
Adhesividad	Adhesión de la muestra sin masticar al paladar después de presionarla con la lengua.	Arnau y col. (1998) Gou y col. (1995)
Gomosidad	Esfuerzo requerido para reducir el producto para su deglución	Guerrero y col. (2004)

manipula el alimento.

Parte de esta información deriva de los receptores periodontales en los incisivos (Sim y col., 1993) pero parte también deriva de la propia percepción

en la mano. La mayoría de los sensores orales están en la parte delantera de la boca, permitiendo que el alimento sea rechazado fácilmente.

La masticación, la primera etapa de

la ingesta, es un proceso complejo donde el alimento colocado en la boca es procesado de una forma adecuada para ser deglutido. Esto conlleva la ruptura del alimento en partículas más pequeñas, la incorporación de saliva, la aglomeración y formación de la mezcla resultante en un bolo alimenticio cohesivo y finalmente el transporte del bolo a la faringe para ser deglutido.

La masticación es efectuada por músculos voluntarios que normalmente son controlados inconscientemente por un amplio conjunto de estímulos sensoriales de la boca (Takada y col., 1994). La secuencia masticatoria se puede dividir en tres fases: ingestión-transferencia del alimento por la lengua entre los dientes, secuencia principal-masticación rítmica donde el alimento es triturado y se forma el bolo alimenticio, evacuación y deglutido (Rosenthal, 1999). La evacuación se realiza con la lengua antes del deglutido.

Durante esta fase la lengua intenta reunir las partículas que no fueron incorporadas en el bolo alimenticio. La evacuación casi nunca es completamente exitosa y muchas partículas se

adhieren a la lengua, la mucosa oral y a los dientes; estos restos pueden permanecer en la boca durante muchos minutos antes de que sean finalmente eliminados. Después de que la mayor parte del bocado masticado ha sido deglutido, quedan algunos restos, dependiendo del tipo de alimento.

La naturaleza compleja de la textura del alimento ha conducido a diseñar esquemas de clasificación que ayuden en la evaluación de la textura y a clasificar los términos específicos.

La evaluación sensorial de los atributos descriptivos es un método de cuantificación específica de las características sensoriales. Estos atributos descriptivos, llamados también descriptores, son muy útiles para identificar los atributos sensoriales de un producto y a través de su monitorización establecen la alteración del producto causada por un tratamiento o por el tiempo (Miller, 1994).

Szczesniak (1963) clasificó en tres categorías los descriptores de textura en alimentos:

1. Características mecánicas: se correlacionan con la reacción del alimento al esfuerzo. Parámetros primarios: dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad.

dad y adhesividad. Parámetros secundarios: fragilidad o fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad.

2. Características geométricas: se correlacionan con el tamaño, forma y orientación de las partículas en el alimento; por ejemplo, pulverulento, arenoso, grumoso, hojaldrado, fibroso, celular, gasificado, cristalino.

3. Otras características: se correlacionan con la percepción de los contenidos de humedad y grasa del alimento, por ejemplo, seco, húmedo, aceitoso.

En la Tabla 6 se muestran algunos descriptores de uso en jamón curado.

La ausencia frecuente de los equivalentes directos de traducción de algunos términos entre las diferentes lenguas ha conducido a dificultades en la obtención de concordancia en los términos. En vista de ello, Drake (1989) construyó una lista de 54 términos ingleses de las propiedades de textura/reológicas de los alimentos y su equivalente en otras 22 lenguas.

3.4. Relación entre las medidas de textura instrumentales y sensoriales

Cuando un individuo come un producto alimenticio, la muestra es

masticada más allá de la rotura inicial, y los estímulos que resultan forman parte de la sensación global de textura. Así como el mordisco inicial es generalmente considerado un aspecto importante de la textura, también lo son los mordiscos subsiguientes, la viscosidad, la adhesividad y la consistencia del alimento mezclado con la saliva. Igualmente importantes son los aspectos de la apariencia del alimento, las propiedades mecánicas y los ruidos que se producen cuando el alimento es manipulado, cortado y comido. Evidentemente, la reología no es suficiente para explicar todos los aspectos ricos y abundantes de la textura que han sido experimentados por los humanos (Rosenthal, 1999).

Los métodos fundamentales generalmente están poco correlacionados con las medidas sensoriales, ya que no suelen realizarse en las condiciones habituales de consumo (Bourne, 1978).

Los ensayos empíricos por lo general se encuentran bien relacionados con la textura sensorial, de los cuales el más conocido es el de punción. Un ejemplo de ello es el publicado por Guerrero y col. (1997)

donde encontraron una correlación de 0,61 entre la fuerza de rendición y la dureza sensorial, trabajando con jamones curados.

Otro ensayo empírico es el Warner-Bratzler, el cual es utilizado ampliamente para medir la terneza en carne y productos cárnicos. No obstante, los resultados obtenidos con esta técnica han sido muy diversos, desde ausencia de correlación con la terneza sensorial a correlaciones bastante elevadas.

Las correlaciones encontradas entre los atributos medidos por el TPA (método imitativo) y las características medidas a través de panel sensorial suelen ser altas (Szczesniak, 2002). Szczesniak y Hall (1975) plantearon que para el uso apropiado del texturómetro, el operador debe suministrar el pensamiento del que el instrumento no es capaz.

En términos generales, la variabilidad de las correlaciones entre las medidas sensoriales y las instrumentales publicadas se pueden atribuir a aspectos diferenciales en las medidas realizadas en cada trabajo. Entre ellos podemos mencionar la velocidad de deformación (Sale y col., 1984; Voisey, 1975), la falta de saliva (Isutsu y

Wani, 1985; Brennan y Bourne, 1994), la dirección de las fibras musculares (Lepetit y Culioli, 1994; Guerrero y Guàrdia, 1999) y las variaciones dentro de un mismo músculo (Lepetit y Culioli, 1994).

4.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antequera, T., López-Bote, C., Córdoba, J. J., García, C., Asensio, M. A. y Ventanas, J. (1992). Lipid oxidative changes in the processing of Iberian pig hams. *Food Chemistry*, 45, 105-110.
- Ambanelli, G., Molinari, C., Trasatti, U. y Pesan, G. (1968). Ricerche sulla stagionatura del prosciutto di Parma. I Modificazioni nelle sostanze azotate. *Industria Conserve*, 3, 207-210.
- Andrés, A., Cava, R., Ventanas, J., Thovar, V. y Ruiz, J. (2004). Sensory characteristics of Iberian ham: Influence of salt content and processing conditions. *Meat Science*, 68, 45-51.
- Armero, E., Flores, M., Toldrá, F., Barbosa, J. A., Olivet, J., Pla, M. y Baselga, M. (1999). Effects of pig sire type and sex on carcass traits, meat quality and sensory quality of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1147-1154.
- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

- Arnau, J. (1993). Tecnología de elaboración del jamón curado. *Microbiología SEM*, 9, 3-9.
- Arnau, J. (1998). Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. En: *El Jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Simposio Especial-44th ICoMST*. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Autores: Arnau, J. y Monfort, J. M. 71-86.
- Arnau, J. (2000). Aspectos tecnológicos que afectan al desarrollo de la textura y del flavor. *II Symposium Internacional del Jamón Curado*. Barcelona. 27-40.
- Arnau, J. (2003) Control del secado para uniformizar la textura del jamón. *Proceeding II Congreso Mundial del Jamón*, Cáceres-España.
- Arnau, J. y Casademont, G. (1987). El envasado del jamón curado. Capítulo I: Parámetros físico-químicos en jamón curado deshuesado y envasado al vacío. En: *El jamón curado: aspectos técnicos*. J. Arnau, M. Hugas, J. M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Girona. 71-76.
- Arnau, J. y Hugas, M. (1987). Defectos en el jamón curado. Capítulo V: Jamones ácidos y putrefactos. En: *El jamón curado: aspectos técnicos*. J. Arnau, M. Hugas, J. M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Girona. 133-141.
- Arnau, J., García-Regueiro, J., Hugas, M. y Monfort, J. (1987). El velo blanco en el jamón curado envasado al vacío. Capítulo II: En: *El jamón curado: aspectos técnicos*. J. Arnau, M. Hugas, J. M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Girona. 99-115.
- Arnau, J. y Gou, P. (2001). Effect of air relative humidity on ham rind and subcutaneous salted fat during the resting period. *Meat Science*, 58, 65-68.
- Arnau, J., Gou, P. y Comaposada, J. (2003a). Pautas de secado-maduración para uniformizar la textura y su aceptabilidad en el jamón curado. En: *Avances en la ciencia, tecnología y comercialización del jamón*. Edit. Conjamón (II Congreso Mundial del Jamón). 78-86.
- Arnau, J., Gou, P. y Comaposada, J. (2003b). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and aspect of dry-cured ham surface. *Meat Science*, 65, 1275-1280.
- Arnau, J., Gou, P. y Guerrero, L. (1994). The effects of freezing, meat pH, and storage temperature on the formation of white film and tyrosine crystals in dry-cured hams. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66, 279-282.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, G. y Gou, P. (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry-cured ham during processing. *Food Chemistry*, 52, 63-69.
- Arnau, J., Guerrero, L. y Gou, P. (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged for six months. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L. y Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agri-*

- culture*, 77, 387-392.
- Bañón, S., Gil, M. D. Granados, M. V. y Garrido, M. D. (1998). The effect of using PSE meat in the manufacture of dry-cured ham. *European Food Research and Technology*, 206, 88-93.
- Bañón, S., Costa, E., Andreu, C., Gil M. D. y Garrido, M. D. (2002). Boar taint perception in cooked and dry-cured meat. *48th ICoMST*. Roma. 126-127.
- Baldini, P., Campanini, M., Pesan, G. y Palmia, F. (1984). Réduction de la quantité de chlorure de sodium employé dans les produits séchés. I. Jambons crus. *Viandes et Produits Carnés*, 5, 83-97.
- Bonilla, F., García, C., Carrapiso, A., Cava, R., Andrés, A. I. y Ventana, J. (2002). Instrumental and sensorial evaluation of dry-cured ham textural properties. *48th ICoMST*. Roma. 128-129.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 37, 62-66, 72.
- Bourne, M. C. (1982). *Food Texture y Viscosity*. Academic Press, New York.
- Boyar, M. y Kilcast, D. (1986). Food texture and dental science. *Journal of Texture Studies*, 6, 259-262.
- Brennan, J. G. y Bourne, M. C. (1994). Effect of lubrication on the compression behaviour of cheese and frankfurters. *Journal of Texture Studies*, 25, 139-150.
- Brewer, M. S. (2004). Water-holding capacity. En: *Encyclopedia of Meat Science*. Edit. Jensen, Devine y Dickeman. 1, 242-249.
- Buscailhon, S., Berdagué, J., Bousset, J., Cornet, M., Gandemer, G., Touraille, C. y Monin, G. (1994). Relations between traits and sensory qualities of French dry-cured ham. *Meat Science*, 37, 229-243.
- Buscailhon, S., Berdagué, J. L. y Monin, G. (1993). Time-related changes in volatile compounds of lean tissue during processing of French dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 63, 69-75.
- Cantoni, C.; Bianchi, M. A.; Beretta, G. y Cattaneo, P. (1972). Ricerche sulle variazioni dei peptidi durante la maturazione del prosciutto crudo. *Industrie Alimentari*, 82.
- Cantoni, C., Bianchi, M. A., Renon, P., y Aubert, S. (1969). Ricerche sulla putrefazione del prosciutto crudo. *Archivio Veterinario Italiano*, 20, 355-370.
- Careri, M., Mangia, A., Barbieri, G., Bolzoni, L., Virgili, R. y Parolari, G. (1993). Sensory property relationships to chemical data of Italian-type dry-cured ham. *Journal Food Science*, 58, 968-972.
- Carrapiso, A. I., Bonilla, F. y García, C. (2003). Effect of crossbreeding and rearing system on sensory characteristic of Iberian ham. *Meat Science*, 65, 623-629.
- Cilla, I., Martínez, L., Beltrán, J. A y Roncalés, P. (2005). Factors affecting acceptability of dry-cured ham throughout extended maturation under "bodega" conditions. *Meat Science*, 69, 789-795.
- Comaposada, J., Gou, P. y Arnau, J. The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55, 291-295.
- Córdoba, J. J., Antequera, T., Ventanas, J., López-Bote, C., García, C. y Asensio, M. A. (1994). Hydrolysis and loss of extractability of proteins during ripening of iberian ham.

- Meat Science*, 37, 217-227.
- Costell, E. y Flores, J. (1984). Selección de un método de medida de las propiedades mecánicas del jamón curado. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 24, 347-355.
- Civille, G. V. y Szczesniak, A. S. (1973). Guidelines to training a texture profile panel. *Journal of Texture Studies*, 4, 204-223.
- Dahl, L. K. (1972). Salt and hypertension. *American Journal of Clinical Nutrition*, 25, 231-244.
- Daudin, J. D. y Swain, M. V. (1990). Heat and mass transfer in chilling and storage of meat. *Journal of Food Engineering*, 12, 95-116.
- Drake, B. (1989). Sensory textural /rheological properties: A polyglot list. *Journal of Texture Studies*, 20, 1-27.
- Ertbjerg, P., Henckel, P., Karlsson, A., Larsen, L. M. y Møller, A. (1999). Combined effect of epinephrine and exercise on calpain / calpastatin and cathepsin B and B+L in porcine *longissimus* muscle. *Journal of Animal Science*, 77, 2428-2436.
- Fenemma, O. (1982). Agua y hielo. Capítulo 2. En: *Introducción a la ciencia de los alimentos*. Editorial Reverté, S. A. España, 33-44.
- Flores, J. (2001). El encostrado del Jamón Serrano: causas de formación y maneras de evitarlo. *Revista de la Asociación de Industrias de la Carne de España*, 75, 5-10.
- Flores, M., Aristoy, M. C. y Toldrá, F. (1998). Feedback inhibition of porcine muscle alanyl and arginyl aminopeptidases in cured meat products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4982-4986.
- Flores, M., Grimm, C.C., Toldrà, F. y Spanier, A. M. (1997). Correlations of sensory and volatile compounds of spanish "serrano" dry-cured ham as a function of two processing times. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45, 2178-2186.
- Fundación Jamón Serrano. (1998). Pliego de condiciones para la elaboración del Jamón Serrano. Obtenido el 24 de Noviembre de 2003, de la Fundación Jamón Serrano Sitio web: <http://fundacionserrano.org/etg.asp>
- García-Esteban, M. Ansorena, D. y Astiasarán, I. (2004). Comparison of modified atmosphere packaging and vacuum packaging for long period storage of dry-cured ham: effects on colour, texture and microbiological quality. *Meat Science*, 57-63.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R. Tapiador, J. y Luque de Castro, M. (1999). Sensory and analytical properties of Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Food Chemistry*, 67, 423-427.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R. Tapiador, J. y Luque de Castro, M. (2000). Activity of cathepsin B, D, H, and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56, 1-6.
- García-Rey, R., García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. y Luque de Castro, M. (2004). Relationship between pH before salting and dry-cured ham quality. *Meat Science*, 67, 625-632.
- Gil, M., Arnau, J., Sárraga, C. (1989). Proteinase activities in Spanish dry-cured ham manufactured with meat of different quality. *37th ICoMST*, 3, 734-740.

- Godsalve, E. W., Davis, E. A. y Gordon, J. (1977). Effect of oven conditions and sample treatment on water loss of dry cooked bovine muscle. *Journal of Food Science*, 42, 1325-1330.
- González, J. (1998). Importancia del jamón curado a lo largo de la historia. En: *El Jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Simposio Especial-44th ICoMST*. Editado por I.R.T.A y Eurocarne. Ed.: Arnau, J. y Monfort, J. M. 111-124.
- Gou, P. (1993). Comparación de las características de crecimiento, canal, carne fresca y jamón curado de cinco cruzamientos en porcino. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gou, P., Guerrero, L. y Arnau, J. (1995). Sex and crossbreed effects on the characteristics of dry-cured ham. *Meat Science*, 40, 21-31.
- Gou, P. y Comaposada, J. (2002). Parámetros implicados en el proceso de secado del jamón curado. *Eurocarne*, 105, 85-96.
- Gou, P., Comaposada, J. y 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. y Pakowski, Z. (2003). On-line measurement of water activity at the lean surface of meat products. *10th Drying Symposium*, Lodz, Poland. 469-476.
- Gou, P., Comaposada, J. y Arnau, J. (2004). Moisture diffusivity in the lean tissue of dry-cured ham at different process time. *Meat Science*, 67, 203-209.
- Greaser, M. L. (1986). Conversion of muscle to meat. En: *Muscle as Food*. Ed. P. J. Bechtel. Academic Press, Londres. 37-102.
- Guerrero, L. y Arnau, J. (1995). Dry-cured hams. Chemical methods to control mites. *Fleischwirtschaft*, 75, 449-450.
- Guerrero, L. y Guàrdia, D. (1999). Evaluación de la terneza en carne de ternera: relación entre las medidas sensoriales e instrumental según la dirección de las fibras musculares. *ITEA*, 20, 11-13.
- Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., Guàrdia, D. y Arnau, J. (2000). Efecto de la disminución del contenido en sodio del jamón curado sobre sus propiedades sensoriales y reológicas. *II Symposium Internacional del Jamón Curado*. Barcelona. 94-95.
- Guerrero, L., Gelabert, J., Quadri, M. y Arnau, J. (1997). Influencia del pH de la carne sobre algunas características reológicas y de textura del jamón curado. *ITEA*, 18, 676-678.
- Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P. y Arnau, J. (1996). Study of the physicochemical and sensorial characteristics of dry-cured ham in three pig genetic types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70, 526-530.
- Guerrero, L., Gou, P. y Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and sensory textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.
- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Arnau, J. (2004). Análisis sensorial de carne y productos cárnicos. En: *Análisis sensorial de productos alimentarios. Metodología y aplicación al mercado español*. Ed. Briz J. y García R. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 195-218.

- Hermansson, A. M. (1986). Water and fatholding. En: *Functional properties of food macromolecules*. Edit. J. R. Michell and D. A. Ledward. Elsevier Applied Science Publishers. London y New York. 273-314.
- Hernández, E. y Huerta, T. (1993). Evolución de los parámetros microbiológicos del jamón curado. *Microbiología SEM*, 9, 10-19.
- Hortós, M. (1995). Influencia de la maduración y condiciones del proceso tecnológico en los cambios de las fracciones nitrogenadas del jamón curado. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Hugas, M., Garriga, M. Arnau, J. y Roca, M. (1987). El envasado del jamón curado. Capítulo IV. Efecto de diferentes atmósferas de gases sobre el jamón curado envasado. En: *El jamón curado: aspectos técnicos*. J. Arnau, M. Hugas, J. M. Monfort (Ed.). Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Girona. 87.
- ISO (1992). Sensory analysis: Vocabulary (ISI 5492). Geneva: International Organization for Standardization.
- Isutzu, T. y Wani, K. (1985). Food texture and taste: a review. *Journal of Texture Studies*, 16, 1-28.
- Jeremiah, L. E. (1978). A review of factors affecting meat quality. *Lacombe Research Station Technical*, Bulletin Number 1, Lacombe, Alberta, Canadá.
- Law, N., Frost, C. y Wald, N. (1991). By how much does dietary salt reduction lower blood pressure. I-analysis of observational data among populations. *British Medical Journal*, 302, 819-824.
- Lawrie, R.A. (1988). Chemical and biochemical constitution of muscle. Capítulo 4. En: *Meat Science*. 4 ed. Ed. Pergamon Press. 43-73.
- Leistner, L. (1985). Allgemeines über Rohwurst und Rohschinken. In: *Mikrobiologie und qualität von Rohwurst und Rohschinken*. Bundesanstalt für Fleischforschung. Kulmbach, 90, 6606-6611.
- Leistner, L. (1986). Allgemeines über Rohschinken. *Fleischwirtschaft*, 66, 496-510.
- Lepetit, J. y Culioli, J. (1994). Mechanical properties of meat. *Meat Science*, 36, 203-237.
- Lewis, M. J. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. En: *Reología y textura de los sólidos*. Editorial Acribia, S. A. 135-167
- Llull, P., Simal, S., Benedito, J. y Roselló, C. (2002). Evaluation of textural properties of meat-based product (sobrassada) using ultrasonic techniques. *Journal Food Engineering*, 53, 279-285.
- Magraner, L., Sánchez, J., Gisbert, M. Sanjuán, R. y López N. (2003). Influence of raw matter on final quality of serrano ham. en: *II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- MAPA. (1996). Inventario español de productos tradicionales. Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 156-168.
- Marín Riaño, M. E., de la Rosa, M. C., Carrascosa, A. V. y Cornejo, I. (1992). Microbiological and physicochemical aspects of spoiled dry-cured spanish hams. *Fleischwirtschaft*, 72, 1553-1557.
- Martín, L., Antequera, T., Córdoba, J. Timón, M. y Ventanas, J. (1998). Effects of salt and temperature in proteolysis during ripening of Ibe-

- rian ham. *Meat Science*, 49, 145-153.
- Martín, L., Antequera, T., Ventanas, J., Benítez-Donoso, R. y Córdoba, J. (2001). Free aminoacids and other non-volatile compounds formed during processing of Iberian ham. *Meat Science*, 59, 363-368.
- Miller, K. (1994). Sensory methods to evaluate muscle foods. In: *Muscle Foods*. Kinsman, D., Rotula, Anthony y Breidenstein, B. Editorial Chapman y Hall. 333-360.
- Monin, G., Virgili, R., Cornet, M., Gandemer, G. y Grasso, F. (1995). Composition chimique et caractéristiques physiques de 6 types de jambons d'Europe latine. *3rd International Symposium on Mediterranean Pigs*, Benevento.
- Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martin, J.F., Cornet, M., Lanore, D. y Grasso, F. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat Science*, 47, 29-47.
- Monte, E., Villanueva, J. R. y Dominguez, A. (1986). Fungal profiles of Spanish country-cured hams. *International Journal of Food Microbiology*, 3, 355-359.
- Mulet, A., Berna, A., Rosselló, C., Cañellas, J. y López, N. (1992). Influence of fat content on the drying of meat products. In *Proceedings 8th International Drying Symposium*, Montreal, Canadá. Vol. B; 844-853.
- Newton, K. y Gill, C. (1981). The microbiology of DFD fresh meats: a review. *Meat Science*, 5, 223-232.
- Núñez, F., Rodríguez, M. M., Bermúdez, M. E., Córdoba, J. J. y Asensio, M. A. (1996). Composition and toxigenic potential of the mould population on dry-cured iberian ham. *International Journal of Food Microbiology*, 32, 185-197.
- O'Halloran, G. R., Troy, D. J., Buckley, D. J. y Reville, W. J. (1997). The role of endogenous proteases in the tenderisation of fast glycolising muscle. *Meat Science*, 47, 187-210.
- Okos, M. R., Narsimhan, G., Singh, R. K. y Weitnauer, A. C. (1992). Food dehydration. *Handbook of food Engineering*. D. R. Heldman and D. B. Lund (Eds) Marcel Dekker. New York. 440.
- Oliver, M.A., Gou, P., Gispert, M., Diestre, A., Arnau, J., Noguera, J.L. y Blasco, A. (1994). Comparison of five types of pig crosses. II. fresh meat quality and sensory characteristics of dry cured ham. *Livestock Production Science*, 40, 179-185.
- Ouali, A. (1990). Meat tenderization: possible causes and mechanisms. A review. *Journal of Muscle Foods*, 1, 129-165.
- Paarup, T., Nieto, J.C., Peláez, C. (1999). Microbiological and physico chemical characterisation of deep spoilage in Spanish dry-cured hams and characterisation of isolated *Enterobacteriaceae* with regard to salt and temperature tolerance. *European Research Technology*, 209, 366-371.
- Palumbo, S. A., Komanowky, M., Metzger, V. y Smith, J. L. (1977). Kinetics of pepperoni drying. *Journal of Food Science*, 42, 1029-1033.
- Parolari, G., Rivaldi, P., Leonelli, C., Bellati, M. y Bovis N. (1988). Colore e consistenza del prosciutto crudo in rapporto alla materia prima e alla técnica di stagionatura.

- Industria Conserve*, 63, 45-49.
- Parolari, G., Virgili, R. y Schivazappa, C. (1994). Relationship between cathepsin B activity and compositional parameters in dry-cured hams of normal and defective texture. *Meat Science*, 38, 117-122.
- Poma, J.P. (1980). Etudes de quelques facteurs influençant la fabrication du jambon sec. *Viandes et Produits Carnes*, 1, 35-41.
- Pons, M. y Fiszman, S. M. (1996). Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, 27, 597-624.
- Presidencia del Gobierno (1967) Decreto núm. 2484/1967. Ref. 3.10. 21. En Código Alimentario Español (1967). Capítulo X. Carnes curadas.
- Roca, M., Herrera, H., Andújar, G., Santos, R. y Prometa, Z. (1989). Salt uptake by hams during dry curing. 35th ICoMST, Copenhagen. 725-729.
- Rosell, C. M. y Toldrá, F. (1998). Comparison of muscle proteolytic and lipolytic enzyme levels in raw hams from Iberian and white pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 117-122.
- Rosenthal, A. (1999) *Food Texture, Measurements and Perception*. Editorial Aspen Publishers, INC. Maryland USA.
- Ruiz-Cabrera, M. A., Gou, P., Comaposada, J., Daudin, J.D., Foucat, L. y Renou, J. P. (1998). Determination of the water diffusivity coefficient in pork meat. *Proceedings 44th ICoMST*, Barcelona.
- Ruiz-Cabrera, M. A., Gou, P., Foucat, L., Renou, J. P. y Daudin, J. D. (2004). Water transfer analysis in pork meat supported by NMR imaging. *Meat Science*, 67, 169-178.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A. y García, C. (2000). Texture and appearance of dry-cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Meat Science*, 33, 91-95.
- Ruiz, J., Ventanas, J. Cava, R. Timón, M. y García, C. (1998). Sensory characteristics of iberian ham: influence of procesing time and slice location. *Food Research International*, 31, 53-58.
- Ruiz, J., Ventanas, J., Cava, R., García, Andrés y García, A. I. (1999). Volatile compounds of dry-cured Iberian ham as affected by the length of the curing process. *Meat Science*, 52, 19-27.
- Sale, P., Noel, Y., Lasteyras, A. y Olean, C. (1984). A sinusoidal compression system to study rheological properties of foods in the transient state. *Journal of Texture Studies*, 15, 103-114.
- Sánchez, F. (2003). Modificaciones Tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado. Tesis Doctoral. Universitat de Girona.
- Sárraga, C., Gil, M., Arnau, J. y Monfort, J. M. (1989). Effect of curing salt and phosphate on the activity of porcine muscle proteases. *Meat Science*, 25, 241-249.
- Sárraga, C., Gil, M. y García-Regueiro, J. A. (1993). Comparison of calpain and cathepsin (B, L and D) activities during dry-cured ham processing from heavy and light large white pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 71-75.
- Scott-Blair, G. (1958). Rheology in food research. *Advances in Food Research*. 8, 1-56.

- Sim, B. J., Lucas, P. W. Pereira, B. P. y Oates, C. G. (1993). Mechanical and sensory assessment of the texture of refrigerator stored spring roll pastry. *Journal of Texture Studies*, 24, 27-44.
- Sisson, S. y Grossmant, J. (1982). Miología de los Porcinos. in: Anatomía de los animales domésticos. (Sisson y Grossman). Capítulo 39. Ed. Salvat Editor. 1384-1397.
- Sofos, J. N. (1983). Antimicrobial effects of sodium and other ions in foods: a review. *Journal of Food Safety*, 6, 45-78.
- Schivazappa, C., Degni, M., Nanni Costa, L., Russo, V., Buttazzoni, L. y Virgili, R. (2002). Analysis of raw meat to predict proteolysis in Parma ham. *Meat Science*, 60, 77-83.
- Szczesniak, A. (2002) Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-225.
- Szczesniak, A. S. (1963). Objective measurements of food texture. *Journal of Food Science*, 28, 410-420.
- Szczesniak, A. y Hall, B. (1975). Application of the General Foods Texturometer to specific food products. *Journal of Texture Studies*, 6, 117-138.
- Taberna, J. M. (2003). Control y automatización del proceso de secado del jamón. Ponencia en: *II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- Tabilo, G. Flores, M. Fiszman, S. y Toldrá, F. (1999). *Postmortem* meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Takada, K., Miyawaki, S. y Tatsuda, M. (1994). The effects of food consistency on jaw movement and posterior temporales and inferior orbicularis oris in children. *Archives of Oral Biology*, 39, 793-805.
- Thorvaldsson, K. y Skjöldebrand, C. (1996). Water transport in meat during reheating. *Journal of Food Engineering*, 29, 13-21.
- Toldrá, F. (1992). The enzimology of dry-curing of meat products. En *New Technologies for meat and meat products*. Ed.: Smulders, F. J. M., Toldrá, F., Flores, J., Prieto, M. ECCEAMST Audet, Nijmegen.
- Toldrá, F. (1998). Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products. *Meat Science*, 49, 101-110.
- Toldrá, F. (2003). Muscle Foods: Water, structure and functionality. *Food Science Technology International*, 9, 173-177.
- Toldrá, F. y Etherington, D.J. (1988). Examinations of cathepsins B, D, H and L activities in dry-cured hams. *Meat Science*, 1, 1-7.
- Toldrá, F. y Flores, M. (1998). The role of muscle proteases and lipases in flavor development during the processing of dry-cured ham. *Critical Reviews in Food Science*, 38, 331-352.
- Toldrá, F., Rico, E., y Flores, J. (1993). Cathepsin B, D, H and L activities in the processing of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 157-161.
- Van den Berg, C. y Bruin, S. (1981). Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In L. B. Rockland y G. F. Stewart. *Water activity: influences on food quality*. New York: Academic Press, Inc.
- Virgili, R., Parolari, C., Soresi, C. y

- Volta, R. (1995a). Effetto della materia prima sulla proteolisi e sulla consistenza del prosciutto crudo tipico. *Industria Conserve*, 70, 21-31.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Soresi, C. y Borri, M. (1995b). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60, 1183-1186.
- Virgili, R., Schivazappa, C., Parolari, G., Soresi Bordini, C. y Degni, M. (1998). Proteases in fresh pork muscle and their influence on bitter taste formation in dry-cured ham. *Journal of Food Biochemistry*, 22, 53-63.
- Voisey, P. W. (1975). Selecting deformation rates in texture test. *Journal of Texture Studies*, 6, 253-257.

CAPÍTULO

TERCERO

MATERIALES Y MÉTODOS

1. PROCEDIMIENTO GENERAL

En la presente memoria fueron realizados cuatro experimentos. Los experimentos 1 y 2 fueron preliminares y sirvieron para obtener un conocimiento más amplio de la relación existente del contenido de agua y/o actividad de agua con los parámetros

de textura en jamón curado (Exp. 1) y en lomo curado (Exp. 2). También sirvieron para definir la metodología a emplear y establecer el diseño experimental de los experimentos 3 y 4.

En la Tabla 7 se esquematiza de manera general los experimentos realizados en la presente Tesis Doctoral.

Tabla 7. Esquema general de los experimentos realizados

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Productos	Jamones curados comerciales	Lomos curados (<i>longissimus dorsi</i>)	Músculos BF y SM curados durante 45 días	Jamones de 289 días de curación
Proceso	- Obtención del BF - Preparación de muestras - Secado - Envasado	- Obtención de piezas - Secado de piezas - Loncheado - Envasado	- Obtención de BF y SM de pernils - Salado - Preparación de muestras - Secado de muestras - Envasado	- Salado de pernils - Reposo - Secado - Obtención de BF y SM - Preparación de muestras - Secado de muestras - Envasado
Análisis realizados	- TPA - Contenido de agua - a_w - pH - Contenido de NaCl - Contenido de grasa	- TPA - Contenido de agua - a_w - pH - Contenido de NaCl - Contenido de grasa - Nitrógeno total	- TPA - Contenido de agua - pH - Contenido de NaCl - Contenido de grasa - Nitrógeno total - NNP	- TPA - Contenido de agua - pH - Contenido de NaCl - Contenido de grasa - Nitrógeno total - NNP

2. EXPERIMENTO 1

Se utilizaron muestras del músculo *biceps femoris* de seis jamones curados comerciales (P1-P6) con un contenido de grasa intramuscular de 2,7 a 4,4%. Las muestras se prepararon en trozos de 3×1,5×1,5 cm, obteniéndose entre 10 y 30 muestras por jamón.

Secado

Las muestras fueron pesadas, etiquetadas y colocadas en recipientes herméticos de plástico que contenían una solución saturada de NaBr preparada con agua destilada (2:5 p/p) (Wolf, Spiess y Jung, 1985). La solución saturada de NaBr se mantuvo en una cámara a 15 °C, en estas condiciones la humedad relativa en equilibrio con el aire del interior de los recipientes es del 60,68% (Greenspan, 1977).

Las muestras correspondientes a cada jamón se secaron en el interior de los recipientes durante períodos distintos con el fin de obtener, para cada jamón, trozos con diferentes grados de secado. Posteriormente estos trozos fueron envasados individualmente (at-

mósfera de 70% N₂) en bolsas de 20 µm de poliamida/70 µm de polietileno: permeabilidad al oxígeno: 8 cm³/m²/24h a 4 °C/80% HR; permeabilidad al vapor de agua: 2,0 g/m²/24h (SACOLIVA®) y almacenadas a 15 °C durante un período mínimo de 14 días, con el fin de equilibrar el contenido de agua y de sal de las muestras.

Análisis de textura

Las muestras fueron cuidadosamente cortadas con un bisturí en forma de paralelepípedos de 10×10×10 mm y de 10×0,5×1,0 mm (largo×ancho×alto), este último caso, para las muestras más secas y así evitar la sobrecarga de la célula del texturómetro. Para estas últimas, el perfil de textura instrumental (TPA) (Bourne, 1978) se realizó por cuadruplicado. Al resto de muestras el TPA se realizó por duplicado. Para realizar el TPA se utilizó un analizador de textura modelo TA-XT2 (Stable Micro Systems, UK) (Figura 3) a una velocidad de cruceta de 5 mm/s. Los paralelepípedos de jamón se comprimieron un 50% (en dirección perpen-

dicular a la de las fibras musculares) y se determinaron los siguientes parámetros: dureza (kg), elasticidad (adimensional), cohesividad (adimensional) y masticabilidad (kg).



Figura 3. Texturómetro utilizado en el experimento 1.

Análisis de actividad de agua (a_w) y contenido de agua (X) sobre las muestras utilizadas para analizar textura

En cada muestra se determinó la a_w utilizando un equipo Novasina AW y X (kg de agua/kg de materia seca) por secado en una estufa a 103 ± 2 °C hasta peso constante (ISO 1442:1997).

También se calculó el valor de X_{dd} (kg H_2O /kg materia seca-kg de grasa intramuscular-kg de NaCl) y X_d (kg

H_2O /kg materia seca-kg de NaCl), utilizando para ello los contenidos de grasa y de NaCl sobre base seca determinados sobre el resto de músculo.

Análisis fisicoquímicos sobre el resto de músculo

Contenido de agua

Se determinó el contenido de agua según la norma ISO 1442 (1997).

pH

El pH fue medido con un pH-metro Xerolit® en una solución de muestra de *biceps femoris* previamente homogeneizada (15 g/135 mL de agua destilada).

NaCl

La cantidad de cloruro fue determinada por el método colorimétrico de Volhard (ISO 1841-1: 1996). Para ello, se pesaron aproximadamente 15 g de muestra y se introdujeron dentro de un Erlenmeyer con 150 mL de agua desionizada, la muestra se homogeneizó con un Ultra-

Turrax (Thyristor Regler TR 50) a 13.500 rpm durante 30 segundos. A continuación la mezcla se introdujo en un baño a 80-100 °C durante una hora. Después de atemperar se añadieron 5 mL de solución de Carrez I y 5 mL de Carrez II dejando la muestra en reposo durante 10 minutos y se filtró sobre papel Whatmann No. 52. A 10 mL del filtrado se le adicionaron 10 mL de una solución de nitrato de plata 0,1 N y, después de reposar 10 minutos, se valoró con sulfocianuro potásico 0,1 N en presencia de nitrobenzén y sulfato férrico amónico como indicador. El contenido de NaCl fue expresado en porcentaje sobre base seca.

Grasa intramuscular

La grasa total se determinó según el método Soxhlet (ISO 1443, 1973) que consiste básicamente en una digestión de la muestra y posterior extracción en Soxhlet con hexano durante 6 horas, regulando la ebullición, de forma que se produzcan 15 sifonadas al menos en cada hora, con posterior determinación del porcentaje de grasa por gravimetría. El contenido de grasa fue

expresado en porcentaje sobre base seca y en porcentaje sobre base seca desalada (MS-NaCl).

3. EXPERIMENTO 2

Se utilizaron 2 lomos curados elaborados a partir del músculo *longissimus dorsi*, al cual se le añadieron 30 g de NaCl, 0,2 g de NaNO₂, 0,2 g de KNO₃ y 2 g de pimienta por kg de lomo. Posteriormente se dejaron durante 8 días a 3±2 °C, rotándose las piezas cada 3 días, luego fueron embutidos en tripas de colágeno y colocados en el secadero a 75-85% de (HR) y 10±1 °C de temperatura durante 2 días para luego disminuir la HR a valores entre 70 y 80%, y subir la temperatura a 12±1 °C, permaneciendo en estas condiciones hasta completar los 45 días. Posteriormente, se quitó la tripa de los lomos, se envasaron al vacío y se colocaron a 3±2 °C por 2 meses para equilibrar el contenido de agua y sal.

Secado

A continuación cada lomo se

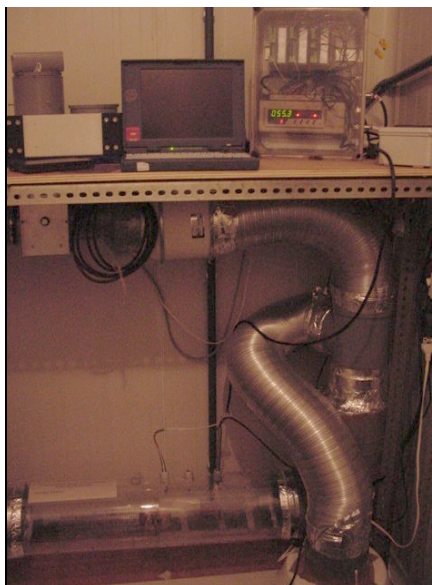


Figura 4. Túnel de secado.

dividió en 4 trozos iguales, dos trozos fueron asignados al tratamiento: Lomo Encostrado (LE), y los otros dos al control: Lomo No Encostrado (LNE), dando como resultado 8 trozos. Los cuatro del LE se colocaron en un túnel de secado (Figura 4) a $50 \pm 3\%$ HR, temperatura de 15 ± 2 °C y una velocidad de aire de 0,2-0,3 m/s durante 8 días, tiempo en el cual se produjo el encostrado. Para lograr que esto sólo ocurriese en una de las superficies transversales del trozo, las demás superficies se recubrieron con plástico envolvente (Permeabilidad: $145 \text{ g H}_2\text{O/m}^2/\text{día}$ a 25 °C y 75% HR). Los trozos correspondientes al LNE se colocaron en un túnel de secado

durante 8 días a $80 \pm 3\%$ de HR, a 2 ± 2 °C, y a una velocidad del aire de 0,2-0,3 m/s.

Posteriormente cada uno de los trozos de los LNE y LE fue loncheado. Las lonchas fueron de unos 3 mm de grosor, procediéndose de la parte más externa hacia su interior, de esta manera se obtuvieron 6 lonchas por cada trozo. Posteriormente estas lonchas fueron envasadas individualmente (atmósfera de $99,8 \pm 0,1\%$ N_2 y $0,1 \pm 0,1\%$ O_2) y almacenadas a 1 °C, durante un período mínimo de 18 días, con el fin de equilibrar la composición de la muestra y tratar de mantener una baja actividad enzimática proteolítica.



Figura 5. Texturómetro utilizado en los experimentos 2, 3 y 4.

Análisis de textura

Para el análisis de la textura, las lonchas fueron cortadas en paralelepípedos de 10×10×3 mm (largo × ancho × altura), utilizando el centro de la loncha para el análisis, efectuándose tres réplicas por cada loncha.

Antes de realizar el análisis las muestras fueron colocadas una hora a temperatura ambiente. Se utilizó un texturómetro MTS Alliance modelo RT/5 (SEM, España) (Figura 5) con mayor capacidad en la célula de carga que el anteriormente utilizado, para evitar la sobrecarga que ocurría con el

anterior texturómetro. Para lograr mayor seguridad en la célula de carga la velocidad de cruceta fue disminuida a 1 mm/s, se comprimieron un 50% y se le calcularon los mismos parámetros que en el experimento 1.

Medida de la a_w y de X de las lonchas

La metodología empleada para la medida de la a_w fue la misma del experimento 1, el contenido de agua se determinó mediante el método AOAC (1990).

Análisis fisicoquímicos de los lomos

El resto de muestra de cada pieza picada se utilizó para la caracterización fisicoquímica. Para ello fueron sacadas de la cámara donde se encontraban a 2 ± 2 °C y colocadas a temperatura ambiente por una hora.

Los análisis realizados fueron los siguientes:

Contenido de agua

Se determinó utilizando el método AOAC (1990).

NaCl

El procedimiento para la determinación de la concentración de NaCl se realizó mediante el método colorimétrico de Volhard (ISO 1841-1: 1996) modificado, ya que la valoración se realizó en un autoanalizador de flujo continuo segmentado Technicon™ AA-II bicanal para análisis de carnes y productos cárnicos (Berman, 1977).

Nitrógeno total (NT) y proteína

Se determinó el contenido en nitrógeno utilizando el método Kjeldahl (AOAC, 1990). Se pesaron aproximadamente 2,0 g de muestra picada y se introdujeron en un tubo Büchi con ácido sulfúrico 98% (20 mL) y un catalizador de sulfato potásico, sulfato de cobre y selenio. Las muestras fueron digeridas a 410 °C durante un tiempo aproximado de 3 horas en un digestor (Digestor Büchi 425). El extracto obtenido se destiló (Distillation unit Büchi 315) tras la adición de NaOH 30%. El destilado se recogió en un Erlenmeyer donde previamente se había añadido 100 mL de ácido bórico

al 4% y un indicador de color (0,2 mL de rojo de metilo y 0,1 mL de azul de metileno diluido en 100 mL en alcohol etílico). La cantidad de amoníaco formado se valoró con HCl 0,25 N. La cantidad de proteína se obtuvo multiplicando el valor del nitrógeno total por 6,25.

Grasa intramuscular

Se determinó utilizando la misma metodología descrita en el experimento 1.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LOS EXPERIMENTOS 3 Y 4

Se utilizaron 36 pernils, los de pH bajo fueron obtenidos en una sala de despiece comercial. Los de pH alto fueron obtenidos del descarte por pH en la fase de selección de pernils en una empresa de jamones curados, debido a la dificultad de encontrar este tipo de pernils.

El pH fue medido con un pH-metro con electrodo de penetración (Crison) en el músculo *semimembranosus* a las 24 h *postmortem*, de esta forma se obtuvieron 36 pernils con peso de 11 ± 1

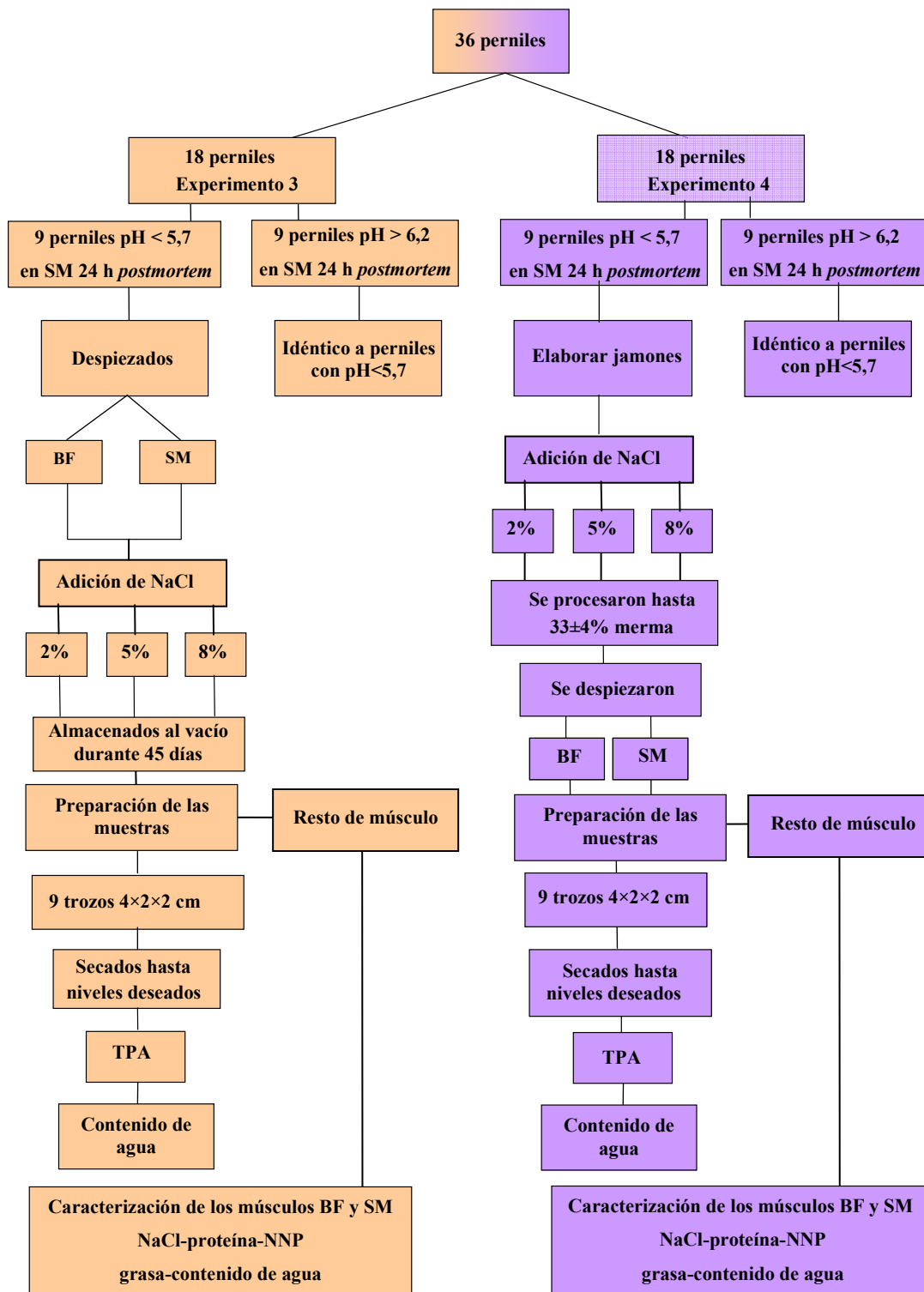
Diseño experimental

Figura 6. Esquema del diseño experimental utilizado para los experimentos 3 y 4.

kg, 18 con $\text{pH} \leq 5,7$ y 18 con $\text{pH} \geq 6,2$.

Luego, fueron divididos en 2 grupos. Un grupo de nueve perniles de $\text{pH} \leq 5,7$ se utilizaron para el procesado de los músculos con 45 días de curación (Experimento 3) y los otros nueve fueron utilizados para la elaboración de jamones de 289 días de curados (Experimento 4). Igual tratamiento tuvieron los perniles con $\text{pH} \geq 6,2$, nueve se usaron para el procesado de músculos curados y otros nueve para elaborar jamones curados.

El esquema del diseño se muestra en la Figura 6. El diseño aplicado para ambos experimentos fue un factorial 3 (niveles de sal) $\times$ 2 (pH) para cada músculo (*semimembranosus* y *biceps femoris*).

4.1. EXPERIMENTO 3

Para la obtención de los músculos curados los perniles fueron despiezados y se extrajeron los músculos *biceps femoris* y *semimembranosus*. Luego, se realizó un salado, frotando los músculos de forma manual con 0,05% de KNO_3 y 0,03% de NaNO_2 , y dependiendo del tratamiento con 2, 5,

u 8% de NaCl . Tras cubrir la parte magra de los músculos con la sal, éstos se envasaron individualmente al vacío en bolsas de poliamida y polietileno (SACOLIVA® permeabilidad: $2,6 \text{ g H}_2\text{O/m}^2/\text{día}$ a $3^\circ\text{C}/85\% \text{ HR}$) y se colocaron horizontalmente en bandejas en una cámara a $2 \pm 2^\circ\text{C}$ como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Condiciones en que fueron colocados los músculos y jamones para su salado.

Al cabo de cinco días se repitió la operación de frotado anterior, con la sal añadida en el primer frotado que no había sido absorbida por el músculo. Los músculos se dejaron en las mismas condiciones anteriores de temperatura y envasado. Esta operación se realizó cada 5 días hasta haber transcurrido 45 días, tiempo que duró la

salazón. Posteriormente fueron cortados en trozos de 40×20×20 mm, obteniéndose 9 trozos por cada músculo (18 pernils × 2 músculos × 9 muestras = 324 muestras), estructurado como se presenta en la Tabla 8.

Cada trozo fue pesado en una balanza analítica de 0,01 mg de precisión (Mettler PE 300) y se enumeraron del 1 al 9, de esta manera cada número correspondería a un nivel de secado dentro de cada músculo.

Tabla 8. Diseño para cada uno de los experimentos 3 y 4, en los músculos *semimembranosus* y *biceps femoris*

Cantidad de NaCl añadida (%)	pH ≤ 5,6		pH ≥ 6,2	
	n	N	n	N
2	3	27	3	27
5	3	27	3	27
8	3	27	3	27

n = número de jamones. N = número de muestras (3 jamones x 9 muestras).

El resto de músculo fue picado y envasado en bolsas metálicas con carátula transparente (SACOLIVA® permeabilidad: < 1 mg H₂O/m²/día, a 23 °C/85% HR), y almacenado a 2±2 °C para su posterior análisis físico-químicos.

Secado

Posteriormente los trozos fueron colocados en secaderos de 2 m³, a 3±2 °C, 57,5±2,5% de HR y a velocidad de aire de 1m/s (Figura 8).

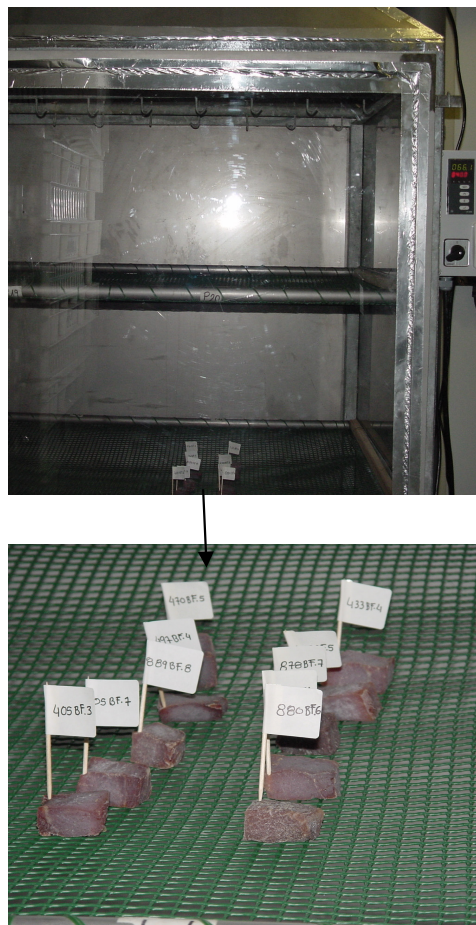


Figura 8. Colocación de las muestras dentro de los secaderos.

En estos secaderos permanecieron hasta alcanzar niveles de contenido de agua entre un 28,6 y un 56,7%. Para ello cada trozo era pesado periódica-

mente y extraído del secadero cuando había alcanzado el peso prefijado. Una vez alcanzado el nivel de secado deseado los trozos fueron envasados individualmente en las mismas condiciones que en el experimento 2 y almacenados a 1 °C por un período mínimo de 30 días.

Análisis de textura

Para el análisis de la textura, los trozos envasados fueron sacados de la cámara donde se encontraban a 1 °C y dejados a una temperatura ambiente durante una hora. Luego se desempacaron y fueron cortados cuidadosamente con un bisturí, en paralelepí-

pedos de 10×10×10 mm, para ello se utilizó una plantilla (con esas medidas) que se colocó en el centro del trozo (Figura 9). Efectuándose tres replicas por cada paralelepípedo.

El texturómetro, la velocidad de cruceta, el porcentaje de compresión y los parámetros calculados, fueron los mismos que en el experimento 2.

Análisis del contenido de agua sobre las muestras de músculo curado utilizadas para analizar textura

Se determinó el contenido de agua según AOAC (1990) y se calculó el valor de (X) y de (X_d) de la misma forma explicada en el experimento 1.

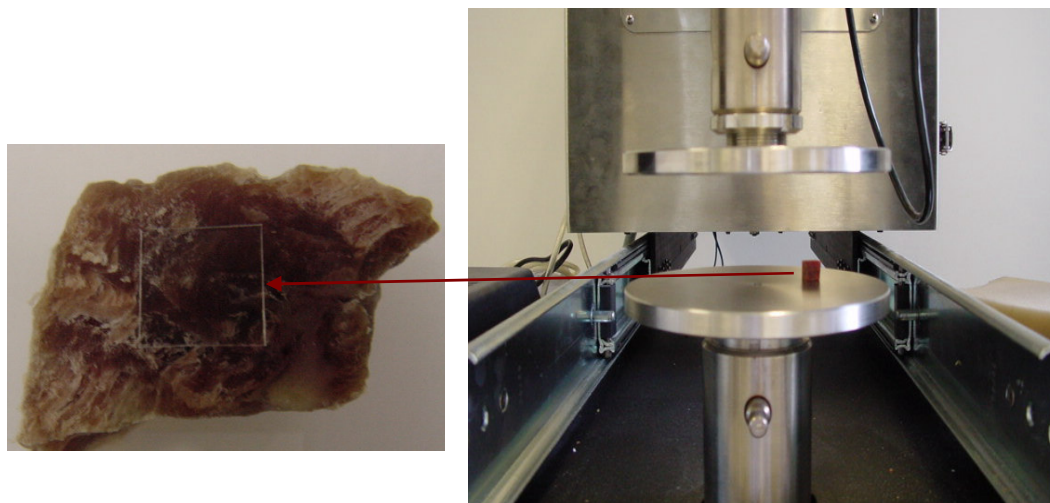


Figura 9. Plantilla utilizada para la obtención de la muestra (paralelepípedo) y su colocación en el texturómetro para su posterior análisis.

Análisis fisicoquímicos sobre el resto de músculo curado

El resto de muestra de cada músculo fue picado y utilizado para la caracterización fisicoquímica.

Contenido de agua

Se determinó según AOAC (1990).

pH

El valor del pH se midió utilizando un pH-metro (Sharlau Science modelo 8424) con una sonda de penetración (Crison Ingold LoT406-M3-S7/25). Las mediciones se realizaron introduciendo la sonda 2-3 cm en el interior de la muestra, midiéndose el pH en tres puntos (dos laterales y uno central) de la muestra.

Nitrógeno No Proteico (NNP)

Se determinó el contenido en NNP utilizando el método de Keresse (1984): se pesaron aproximadamente 10 g de muestra y se introdujeron en un Erlenmeyer con 100 mL de agua desionizada. Posteriormente la muestra se ho-

mogeneizó con un Ultra-Turrax (Thyristor Regler TR 50) a 13.500 rpm durante 30 s y se agregaron 100 mL de ácido tricloracético al 10%. Se taparon los Erlenmeyers (papel parafilm) y se dejaron 24 horas a 2 ± 2 °C. Pasadas las 24 horas se filtró sobre papel Whatmann # 52, y se introdujeron 50 mL de la solución en un tubo Büchi, procediéndose a la digestión y a la destilación de manera idéntica a la utilizada para la determinación de NT del experimento 2. La valoración de amoníaco formado se realizó con HCl 0,1 N.

NT e índice de proteolisis (IP)

El NT se determinó utilizando la misma metodología descrita en el experimento 1.

Un IP fue determinado como el porcentaje de la relación existente entre NNP y NT (Ambanelli y col., 1968; Cantoni y col., 1972; Careri y col., 1993; Schivazappa y col., 2002).

Grasa intramuscular

El contenido de grasa intramuscular se determinó utilizando la misma me-

todología descrita en el experimento 1.

4.2. EXPERIMENTO 4

Procesado de jamón curado

Para la fabricación de los jamones curados, los perniles fueron salados frotándolos de forma manual con 0,05% de KNO_3 y 0,03% de NaNO_2 , y dependiendo del tratamiento con 2, 5, u 8% de NaCl . Tras cubrir la parte magra de las piezas con la sal, los perniles se envasaron individualmente al vacío en bolsas de poliamida y polietileno (SACOLIVA® permeabilidad: $2,6 \text{ g H}_2\text{O/m}^2/\text{día}$ a $23^\circ\text{C}/85\% \text{ HR}$) y se colocaron en bandejas en una cámara a $2\pm 2^\circ\text{C}$, procedimiento similar al utilizado en el experimento 3 (Figura 7).

Al cabo de cinco días se repitió la operación de frotado anterior, con la sal añadida en el primer frotado que no había sido absorbida por el jamón. Los jamones se dejaron en las mismas condiciones anteriores de temperatura, y envasado. Esta operación se realizó cada 5 días hasta haber transcurrido 33 días, tiempo que duró el salado.



Figura 10. Jamones colgados en el secadero.

Al finalizar esta fase de salado los jamones fueron lavados con agua fría y permanecieron colgados en secaderos (de 2 m^3) con las siguientes condiciones $78\pm 2\% \text{ HR}$, $2\pm 2^\circ\text{C}$ y a una velocidad de aire de $0,09 \text{ m/s}$ de ventilación continua (Figura 10). En estas condiciones permanecieron durante una semana, posteriormente se disminuyó la HR hasta 70-75% manteniéndose la misma temperatura y velocidad del aire por 2 meses (etapa de reposo).

En la etapa de secado, los jamones permanecieron colgados en el secadero de manera que la parte magra de cada jamón estuviera encarada a la parte

magra de otro jamón a una distancia aproximada de 2 cm, intentándose bloquear el posible efecto que pudiera tener la posición del jamón en el secadero. En este período, la HR se fue disminuyendo y la temperatura aumentando paulatinamente (Tabla 9).

Tabla 9. Condiciones de procesado de los jamones

Etapas	t (días)	T (°C)	HR (%)
Salado	33	2±2	-
Reposo	61	2±2	78±2,0
Secado 1	13	10±2	67,5±2,5
Secado 2	110	15±2	57,5±2,5
Secado 3	72	28±2	65,0±5,0

t = tiempo; T = temperatura; HR = humedad relativa.

En diferentes puntos del proceso se realizaron controles de la pérdida de peso. Los jamones fueron procesados de forma tradicional durante 289 días y con una merma final del 33±4%.

Después los jamones fueron despiezados y se extrajeron los músculos *biceps femoris* y *semimembranosus* (Figura 11).

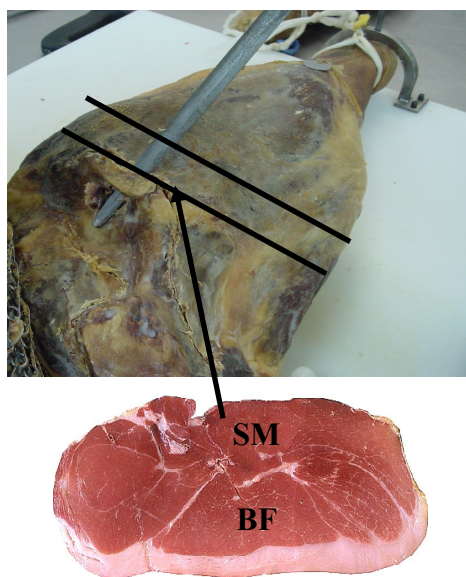


Figura 11. Representación gráfica señalando la ubicación de los músculos *biceps femoris* (BF) y *semimembranosus* (SM) en jamón curado.

Secado

Posteriormente, los músculos fueron cortados en 9 trozos de 40×20×20 mm, (18 jamones × 2 músculos × 9 muestras = 324 muestras), y colocados en el secadero, permaneciendo allí hasta alcanzar niveles de contenido de agua entre un 22,4% y un 58,5%.

El resto de muestra de cada músculo fue picada y envasada al vacío en bolsas metálicas (SACOLIVA® permeabilidad: < 1 mg H₂O/m²/día, a 23 °C/85% HR) y almacenadas a 2±2 °C hasta su posterior análisis

fisicoquímico.

Una vez alcanzado el nivel de secado deseado los trozos fueron envasados individualmente en las mismas condiciones que en el experimento 2 y almacenados a 1 °C durante un período mínimo de 60 días.

Análisis de textura

Se realizó utilizando la misma metodología descrita en el experimento 3.

Análisis del contenido de agua sobre las muestras de jamón curado utilizadas para analizar textura

Se determinó X y X_d de la misma forma que en el experimento 3.

Análisis fisicoquímicos sobre el resto de jamón curado

Los análisis realizados fueron: **contenido de agua, pH, nitrógeno no proteico (NNP), nitrógeno total, grasa intramuscular** y el **índice de proteolisis**. Para todos estos análisis se utilizó la misma metodología descrita en el experimento 3. En la presente memoria todos los análisis se

realizaron como mínimo por duplicado.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para los experimentos 2, 3 y 4 los datos fueron procesados usando un análisis de varianza, a través del procedimiento GLM del SAS (SAS, 1999). En el experimento 2 el modelo consideró como bloque los lomos y como efecto fijo los tratamientos (LE y LNE) y como variables dependientes a_w , X y los parámetros del perfil de textura. También se realizó un análisis de componentes principales, sobre los parámetros de textura, X y a_w , a través del procedimiento FACTOR del SAS. Para los datos fisicoquímicos de los músculos curados (Exp. 3) y de los jamones curados 289 días (Exp. 4) el modelo incluyó los efectos principales del pH_{SM} , de los niveles de NaCl añadidos y del tipo de músculo y también sus interacciones. Las diferencias entre medias fueron contrastadas a través de la prueba de Duncan.

También se realizó un análisis de regresión no lineal con el procedimiento NLIN del SAS, para describir la relación de X y/o a_w con la dureza y

un análisis de regresión lineal para la cohesividad y la elasticidad, en los experimentos 2, 3 y 4.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambanelli, G., Molinari, C., Trasatti, U. y Pesan, G. (1968). Ricerche sulla stagionatura del prosciutto di Parma. I Modificazioni nelle sostanze azotate. *Industria Conserve*, 3, 207-210.
- AOAC (1990). *Association of Official Analytical Chemistry*. 15th Ed, Arlington, Virginia, pp 931-935.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62-66, 72.
- Cantoni, C.; Bianchi, M. A.; Beretta, G. y Cattaneo, P. (1972). Ricerche sulle variazioni dei peptidi durante la maturazione del prosciutto crudo. *Industrie Alimentari*, 82, 1-5.
- Careri, M., Mangia, A., Barbieri, G., Bolzoni, L., Virgili, R. y Parolari, G. (1993). Sensory property relationships to chemical data of Italian-type dry-cured ham. *Journal Food Science*, 58, 968-972.
- Greenspan, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards Physics and Chemistry*, 81A, 1, 89-96.
- ISO 1841-1: 1996. Determination of chloride content - Part 1: Volhard method. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 1442: 1997. Determination of moisture content. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 1443: 1973. Determination of total fat content. Geneva: International Organization for Standardization.
- Kerese, I. (1984). *Methods of protein analysis*. Chichester: Ellis Howood Ltd.
- SAS Institute. (1999). Statistical Analysis System Release 8.01. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schivazappa, C., Degni, M., Nanni Costa, L., Russo, V., Buttazzoni, L. y Virgili, R. (2002). Analysis of raw meat to predict proteolysis in Parma ham. *Meat Science*, 60, 77-83.
- Wolf, W., Spiess, W. E. L., y Jung, G. (1985). Standardization of isotherm measurement (COST-project 90 and 90 bis). In D. Simatos & J. L. Multon, *Properties of water in foods*. Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers. 661-679.

CAPÍTULO

CUARTO

**TEXTURE PARAMETERS OF DRY-CURED HAM *M. BICEPS FEMORIS*
SAMPLES DRIED AT DIFFERENT LEVELS AS A FUNCTION OF WATER
ACTIVITY AND WATER CONTENT**

**PARÁMETROS DE TEXTURA EN MUESTRAS DE *M. BICEPS FEMORIS* DE
JAMÓN CURADO SECADAS A DIFERENTES NIVELES EN FUNCIÓN DE LA
ACTIVIDAD DE AGUA Y EL CONTENIDO DE AGUA**

El contenido de este estudio ha sido publicado en la revista Meat Science 69
(2005) 249-254.

Texture parameters of dry-cured ham *m. biceps femoris* samples dried at different levels as a function of water activity and water content

X. Serra, J. Ruiz-Ramírez, J. Arnau, P. Gou

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Centre de Tecnologia de la Carn, Granja Camps i Armet s/n, 17121 Monells, Girona, Spain

ABSTRACT

Instrumental texture parameters of *m. biceps femoris* (BF) samples from six commercial dry-cured hams, dried to a different degree, were related to water activity and water content. Samples were carved into cubes and Texture Profile Analysis (compression 50%, 10 mm high samples), water activity (a_w 25 °C) and water content analyses were performed. A negative non-linear relationship between hardness and water content and water activity was observed. From this relationship, critical X and a_w values, below which there is a dramatic increase in hardness, can be found (around 0.55 kg H₂O/kg dry matter and around 0.70, respectively). Cohesiveness and springiness showed a positive linear relationship with water content and water activity.

Keywords: Water activity, Water content, Texture, Dry-cured ham, *Biceps femoris*.

1. Introduction

The production of dry-cured hams is based essentially on two processes: the absorption and diffusion of salt into the muscles and the progressive dehydration of the muscles. The aim of the process is to stabilize the ham by decreasing the water activity (a_w) and to facilitate the development of the appropriate sensory characteristics.

Texture is a major sensory characteristic in dry-cured ham quality evaluation. The main texture defects in dry-cured ham are excessive softness inside (Parolari, Virgili & Schivazappa, 1994; Virgili, Parolari, Schivazappa, Bordini & Borri, 1995; Parolari, 1996), and a crusted external zone (Arnau, 1998). The problem of a very soft texture in dry-cured ham (e.g.: Parma and Serrano ham) has been related to both raw material (see review by Virgili and Schivazappa, 2002) and process characteristics.

With respect to the crusting problem, dry-cured hams undergo a high drying rate on the outer part while still keeping a very high moisture content in the inner part. As a result, a very strong moisture gradient appears between the inner and the external zones. The diffusion rate of

water from the inner zone does not compensate the high dehydration rate on the surface and consequently the surface hardens and can form a crust (Flores, 2001). Temperature and relative humidity of the air affect the equilibrium water content and the composition of the surface (Gou, 1998; Comaposada, Gou & Arnau, 2000; Arnau, Gou & Comaposada, 2003) and consequently the appearance (Arnau & Gou, 2001; Arnau et al., 2003) and texture.

However, even though texture is a very important parameter, only limited information about its relationship with water content and the water activity in dry-cured meat products is available. Virgili et al. (1995) described significant negative correlations between moisture content and hardness (compression 60%) in several dry-cured ham muscles. Monin, Virgili, Cornet, Gandemer & Grasso (1995) and Monin et al. (1997) also reported negative relationships between water content and texture of dry-cured hams. Tabilo, Flores, Fiszman & Toldrá (1999) found that dry-cured hams from females, which had a significantly higher moisture content than males (57.4% vs. 53.2%; $P < 0.05$) and similar intramuscular fat content (2.1% vs

2.3%), also showed lower hardness values (compression 20%: 1.18 kg vs 1.69 kg; $P < 0.05$). Nonetheless, Ruiz-Carrascal, Ventanas, Cava, Andrés & García (2000) did not find a significant relationship between the degree of dehydration (water content) and the sensory textural characteristics (hardness, dryness and juiciness) in Iberian dry-cured hams.

The aim of the present study was to describe the relationship between texture parameters of dry-cured ham and its water content and water activity.

2. Materials and methods

2.1. Sample preparation

A total of six commercial 12-month dry-cured hams from three different batches (two hams from each one) were selected (H1, H2; H3, H4; H5, H6). The dry-cured hams were cut and the *biceps femoris* (BF) muscles were removed. All intermuscular fat and external connective tissue (perimisium) was trimmed from the BF muscles. The BF muscles were then shaped into parallelepiped samples (approx. $3 \times 1.5 \times 1.5$ cm), yielding between 10 and 30 samples per ham. The samples were weighed, labelled and placed on a plastic grid (2×2 cm mesh) inside a plastic container

(PVC; $20 \times 20 \times 10$ cm). For each replicate two containers were used, each one filled with half of the samples of the two dry-cured hams. The containers were previously filled with 500 ml of a saturated solution of NaBr and distilled H_2O , (2:5, w/w) (Wolf, Spiess & Jung, 1985) and were kept hermetically sealed at 15 ± 2 °C. The saturated NaBr solution at 15 °C maintained a relative humidity of 60.68% inside the container (Greenspan, 1977).

According to a previous design, the samples from the first replicate (H1 and H2) were periodically checked for weight losses (approx. every 2 days for one month). Two samples from the same ham were removed from the containers periodically after every 2% weight loss occurred (alternating samples from a different ham every time). The aim was to obtain a wide range of samples with a different degree of drying. The samples were weighed and individually packed in plastic bags (20 μ m polyamide / 70 μ m polyethylene; oxygen permeability: $8 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}$ at 4 °C/80%RH; water vapour permeability: $2.0 \text{ g}/\text{m}^2/24\text{h}$; SACOLIVA S.L.[®], Castellar del Vallès, Barcelona) with a 70% nitrogen atmosphere, to avoid undesired sample com-

pression, and kept at 15 ± 2 °C for a minimum of 14 days to allow equilibration of NaCl and water throughout the sample. The second and third replicates were intended to complete the gaps in the distribution of water activity values obtained from the results of the first replicate (H1 and H2). The samples from hams H3, H4, H5 and H6 were, therefore, not evenly distributed.

Before carrying out the analyses the plastic bags containing the samples were kept for one hour at room temperature. Next the samples were weighed and accurately carved with a scalpel into cubes for the texture analyses. From the remaining sample, a part (3-4 g) was immediately cut up and two disposable plastic bowls were filled and sealed with tape until subsequent water activity determination. The spare sample was vacuum-packed and stored at 0-3 °C for chemical analysis.

2.2. Texture Profile Analysis (TPA)

A universal Texture Analyser TA.XT2 (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England) was used for the Texture Profile Analysis or TPA (Bourne, 1978). Duplicate cubes of $10 \times 10 \times 10$ mm were analysed. For the very dry samples, in order to avoid

overloading the texture analyser (25 kg load cell), cubes of $10 \times 5 \times 10$ mm (length $\times$ width $\times$ height) were used (quadruplicates). Cubic samples (10 mm height) were placed with the fibre bundles parallel to the compression plate surface and were compressed twice to 50% of their original height ($t = 0$ s between the two compressions). Force-time curves were recorded at a crosshead speed of 5 mm/s. The following TPA parameters were obtained through the XT.RA Dimension software package (SMS, 1992): springiness, hardness (kg) and cohesiveness. The mean of the replicates of each sample was used for data analyses. Hardness values were corrected for the different sample areas and expressed as kg/cm^2 . Chewiness (kg/cm^2) was calculated as follows: corrected hardness $\times$ cohesiveness $\times$ springiness.

2.3. Water activity and water content determination

Water activity (a_w) measurement was carried out at 25 °C with a Novasina AW SPRINT - TH 500 instrument (Axair Ltd., Pfäffikon, Switzerland) that allows temperature-controlled measurements of a_w . After measuring a_w , the water content ($X = kg\ H_2O / kg\ dry\ matter$) of the samples

was immediately determined by drying at 103 ± 2 °C until reaching a constant weight (ISO 1442: 1997). The water content of the samples on defatted (without intramuscular fat content, IMF) and desalted (without NaCl content) dry matter basis was also calculated from the chemical composition of each ham ($X_{dd} = \text{kg H}_2\text{O} / (\text{kg dry matter} - \text{kg IMF} - \text{kg NaCl})$).

2.4. Chemical composition

All the vacuum-packed BF samples of each dry-cured ham were minced together and mixed thoroughly before the analysis. Moisture content of the minced BF mix of each ham was determined as described previously (ISO 1442: 1997). Ham pH was measured in a homogenised sample solution (15 g / 135 ml distilled H₂O) with a xerolyt pHmeter. Sodium chloride was determined by the Volhard method (ISO 1841-1: 1996) and total intramuscular fat (IMF) by ISO (1443: 1973) method. Both variables were expressed on dry matter basis (DM).

3. Results and discussion

Table 1 shows the physicochemical composition on a dry matter basis of *m. biceps femoris* from the six dry-cured

hams. Hams H1 and H2 showed the highest pH values which could suggest that high ultimate pH green hams were used in the process (Arnau, 1991), however, no information concerning the green ham quality and processing was available. The intramuscular fat content (IMF) ranged from 3.88% to 6.92% (DM) while the NaCl content ranged from 13.56% to 15.24% (DM). Sodium chloride values were close to the maximum amount allowed for ‘Jamón Serrano’ ham, a Traditional Speciality Guaranteed (TSG) (Article 13(2) of Regulation (EEC) No 2082/92). According to the specifications of this TSG, the salinity of ‘Jamón Serrano’ should be lower than 15% of defatted dry extract, measured in a 15 ± 2 mm thick transversal slice, without skin and cut at a point 4 cm from the head of the femur.

This slice includes BF, *semimembranosus* (SM), *semitendinosus* (ST), as well as knuckle muscles. BF muscle is usually the muscle with the highest sodium chloride content at the end of the process (Arnau, Guerrero, Casademont & Gou, 1995).

The relationships between water activity (a_w) and water content on a dry matter basis (X) with the TPA

Table 1

Physicochemical composition on dry matter basis (DM) of m. *biceps femoris* from the six dry-cured hams

Ham	pH	Intramuscular fat (% DM)	NaCl (% DM)
H1	6.84	6.92	14.7
H2	6.79	6.59	15.0
H3	5.92	6.72	14.9
H4	5.77	6.75	15.2
H5	6.14	4.60	13.6
H6	5.96	3.88	14.2

characteristics: hardness and chewiness of BF from dry-cured hams are shown in Fig. 1. The relationship of texture parameters, i.e.: hardness and chewiness, with X_{dd} was similar to X and only the later is plotted in Fig. 1. The hardness of BF samples showed a slight increase as a_w values fell from 0.90 to 0.70, which corresponds with X values from 1.30 to 0.56 kg H₂O/kg dry matter. However, when lower water activity and water content values were reached, hardness increased dramatically above 15 kg/cm². The highest hardness value obtained in the present study was 49.7 kg/cm² corresponding with $a_w = 0.64$ and $X = 0.35$ kg H₂O/kg dry matter. The variable “chewiness” showed analogous relationships, as could be expected, since it is a

secondary textural characteristic product of hardness, cohesiveness and springiness (Szczeniak, 1963). On the other hand, hardness showed lower data dispersion within X values than within a_w values, indicating that more precise information about this texture parameter can be obtained through X measurements.

The large increase in hardness observed at low a_w and X values could explain the crust formation on the lean surface of the ham. This situation occurs when the cured ham undergoes a drying process at low relative humidity and high temperature resulting in a hard rind (Frentz, 1982; Flores, 2001). In agreement with these results, Virgili et al. (1995) reported high negative correlations ($P < 0.01$) between hardness (60% compression) and moisture content in several dry-cured ham muscles (BF, $r = -0.72$; SM, $r = -0.60$; ST, $r = -0.81$). Furthermore, these authors found that hardness was enhanced by salt concentration showing positive correlations ranging from 0.47 to 0.61 ($P > 0.01$). Salt crystallisation, which occurs below $a_w = 0.75$ (Lioutas, Bechtel & Steinberg, 1984), could partly explain the high increase in hardness. Monin et al. (1995)

also reported negative relationships between hardness and chewiness and water content in six types of dry-cured ham.

On the other hand, the hardness and chewiness of hams H1 and H2, which showed the highest pH values (Table 1), were slightly lower than in the other hams at high a_w and X values (Fig. 1). This would be in agreement with the results reported by Arnau, Guerrero & Sárraga (1998) and Guerrero, Gou & Arnau (1999), who found significantly lower hardness values in dry-cured hams with a high raw meat pH than in normal ones, in both sensory, and mechanical texture analysis. However, at a_w values below 0.7, hams H1 and H2 showed a higher hardness and chewiness than the other hams, which is in accordance with the statement of Arnau (1993) about a higher susceptibility of high pH hams to form external crust. However, in order to confirm this, a higher number of hams with different pH values and sodium chloride contents should be evaluated.

The development of techniques for on-line determination of the water content (X) and/or a_w at the product surface would enable to maintain these values above the critical values and thus

to prevent crust formation.

The relationships between water activity (a_w) and water content on a dry matter basis (X) with TPA primary characteristics: cohesiveness and springiness are shown in Fig. 2.

Dry-cured ham cohesiveness and springiness showed a positive linear relationship with a_w and X . Both textural variables increased with increasing a_w and X values.

The relationship of texture parameters, i.e.: cohesiveness and springiness, with X_{dd} was similar to X and only the later is plotted in Fig. 2. With increasing dehydration (low X and a_w) the cohesiveness (extent to which a material can be deformed before it ruptures) and the springiness (rate at which a deformed material goes back to its initial form after the deforming force is removed; Civille & Szczesniak, 1973) were reduced. These results could help to explain some problems that can occur during dry-cured ham elaboration. The decrease in cohesiveness and springiness of the outer part of the ham could impair muscle retraction, especially in hams with high moisture content in the inner part, which still have to undergo important drying. The decreasing cohe-

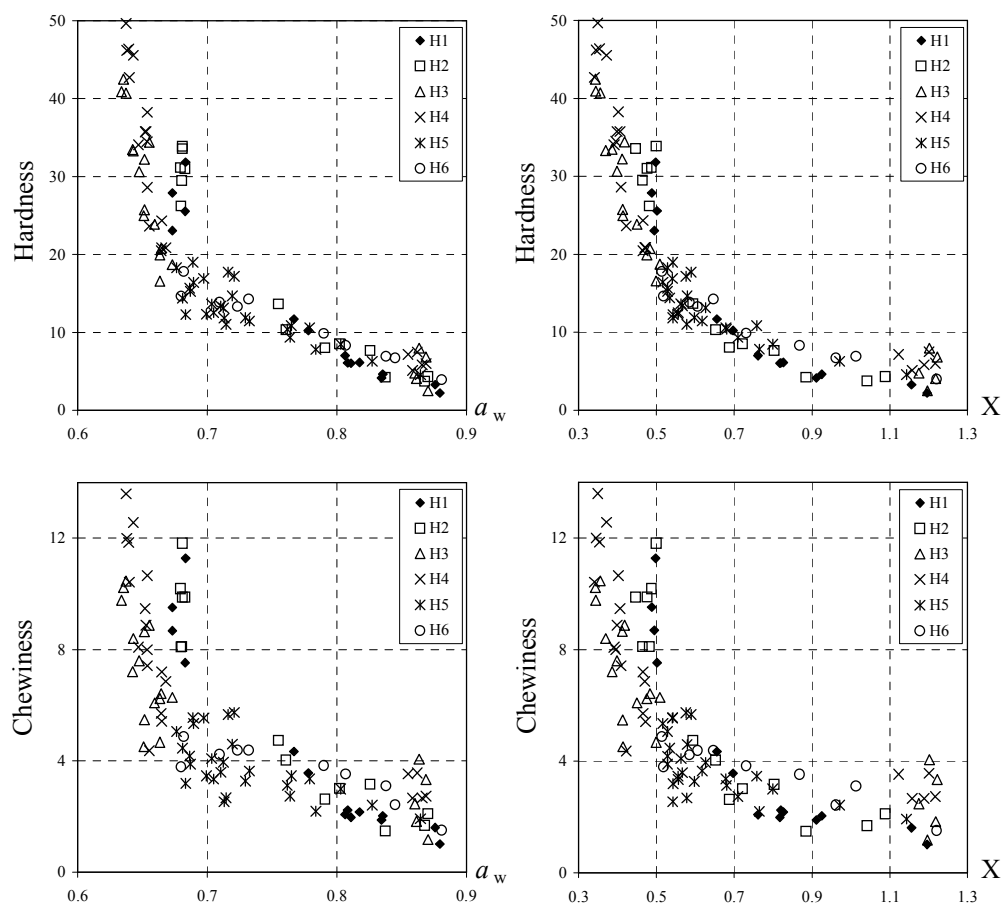


Fig. 1. Hardness (kg/cm^2) and chewiness (kg/cm^2) vs water activity (a_w) and water content (X , kg H₂O/kg dry matter). TPA compression 50% on 10 mm high samples. H1-H6, hams.

siveness and springiness observed in low water content BF samples could also be affected by salt crystallization at $a_w \leq 0.75$. However, the effect of salts other than sodium chloride should also be taken into account, especially if RH > 85% is used during the resting period (Arnau et al., 2003). In their study, Arnau et al. (2003) found that a_w values (on a

2 mm thick layer of *semimembranosus* muscle from the ham surface) ranged from 0.70 to 0.72 while the X values ranged between 0.24 and 0.27 kg H₂O/ kg DM, which were lower than in our study, since the NaCl values ranged between 3.15 and 3.26% DM. Thus, further studies are needed to establish the effect of different salt contents

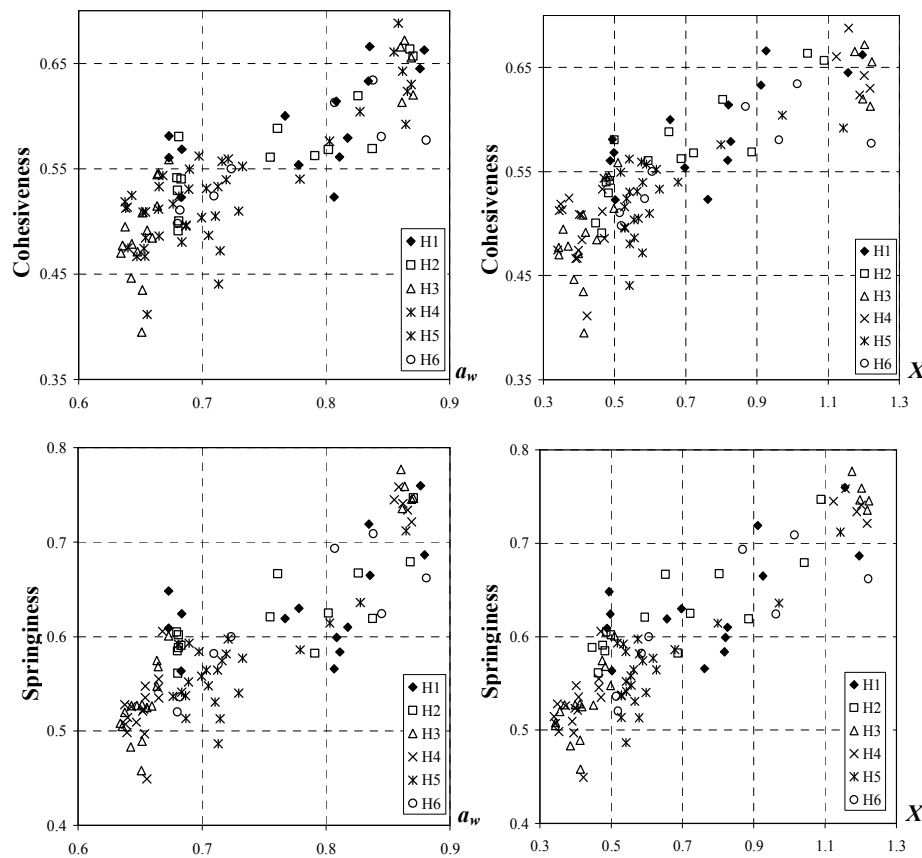


Fig. 2. Cohesiveness and springiness vs water activity (a_w) and vs water content (X , kg de H_2O /kg dry matter). TPA compression 50% on 10 mm high samples. H1-H6, hams.

and different X values on dry-cured ham texture. Regardless of the effect of the chemical composition of dry-cured hams and the level of proteolysis on dry-cured ham texture, which was not the aim of this study, we can conclude from these results that there is a negative non-linear relationship between hardness and water content and water activity. From this relationship, a critical rang of X and a_w values, below

which there is a dramatic increase in hardness, can be found (around 0.55 kg H_2O /kg dry matter and around 0.70, respectively). On the other hand, cohesiveness and springiness show a positive linear relationship with water content and water activity.

4. Acknowledgements

This research was financed by the Spanish Ministry of Science and Tech-

nology (AGL2000-0517-P4-04 project). Grant 20002000330 by the Venezuelan Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) to finance J. Ruiz-Ramírez Ph.D. studies in Food Science at Universitat Autònoma de Barcelona is acknowledged.

5. References

- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinària, Barcelona, Spain.
- Arnau, J. (1993). Tecnología de elaboración del jamón curado. *Microbiología SEM*, 9, 3-9.
- Arnau, J. (1998). Principales problemas tecnológicos en la elaboración del jamón curado. El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Simposio Especial 44th ICoMST. Barcelona, *Eurocarne*, 71-86.
- Arnau, J. & Gou, P. (2001). Effect of air relative humidity on ham rind and subcutaneous salted fat during the resting period. *Meat Science*, 58, 65-68.
- Arnau, J., Gou, P., & Comaposada, J. (2003). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and appearance of dry-cured ham surface. *Meat Science*, 65, 1275-1280.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, 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.
- Arnau, J., Guerrero, L., & Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of Science Food and Agriculture*, 77, 387-392.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(7), 62-66, 72.
- Civille, G. V., & Szczesniak, A. S. (1973). Guidelines to training a texture profile panel. *Journal of Texture Studies*, 4, 204-223.
- Comaposada, J., Gou, P., & Arnau, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55, 291-295.
- Flores, J. (2001). El encostrado del Jamón Serrano: causas de formación y maneras de evitarlo. *Revista de la Asociación de Industrias de la Carne de España. Octubre-Diciembre*, 75, 5-10.
- Frentz, J.C. (1982). *L'Encyclopédie de la Charcuterie: Dictionnaire encyclopédique de la charcuterie*. Orly, France: Soussana.
- Gou, P. (1998). Dinámica del secado del jamón curado. El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Simposio Especial 44th ICoMST. Barcelona, *Eurocarne*, 90-106.
- Greenspan, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards Physics and Chemistry*, 81A(1), 89-96.
- Guerrero, L., Gou, P. & Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and sensory textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.

- ISO 1442: 1997. Determination of moisture content. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 1443: 1973. Determination of total fat content. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 1841-1: 1996. Determination of chloride content - Part 1: Volhard method. Geneva: International Organization for Standardization.
- Lioutas, T. S., Bechtel, P. J., & Steinberg, M. P. (1984). Desorption and adsorption isotherms of meat-salt mixtures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32, 1382-1385.
- Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martin, J.F., Cornet, M., Lanore, D. & Grasso, F. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne Hams) during processing and effects of dehairing technique. *Meat Science*, 47, 29-47.
- Monin, G., Virgili, R., Cornet, M., Gandemer, G. & Grasso, F. (1995). Composition chimique et caractéristiques physiques de 6 types de jambons d'Europe latine. *3rd International Symposium on Mediterranean Pigs*, Benevento.
- Parolari, G. (1996). Review: Achievements, needs and perspectives in dry-cured ham technology: the example of Parma ham. *Food Science and Technology International*, 2, 69-78.
- 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, 117-122.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A., & García, C. (2000). Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Meat Science*, 33, 91-95.
- SMS (1992). *Stable Micro Systems XT.RA Dimension User's guide* (Version 3.6). Stable Micro Systems Ltd, Surrey, England.
- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28, 385-389.
- Tabilo, G., Flores, M., Fiszman, S. M., & Toldrá, F. (1999). Post-mortem meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Bordini, C. S., & Borri, M. (1995). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60, 1183-1186.
- Virgili, R. & Schivazappa, C. (2002). Muscle traits for long matured dried meats. *Meat Science*, 62, 331-343.
- Wolf, W., Spiess, W. E. L., & Jung, G. (1985). Standardization of isotherm measurement (COST-project 90 and 90 bis). In D. Simatos & J. L. Multon, *Properties of water in foods* (pp 661-679). Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.

CAPÍTULO

QUINTO

**PROFILES OF WATER CONTENT, WATER ACTIVITY AND TEXTURE IN
CRUSTED DRY-CURED LOIN AND IN NON-CRUSTED DRY-CURED LOIN**

**PERFILES DE CONTENIDO DE AGUA, ACTIVIDAD DE AGUA Y TEXTURA EN
LOMO CURADO ENCOSTRADO Y NO ENCOSTRADO**

El contenido de este estudio ha sido publicado en la revista Meat Science 69 (2005)

519-525

Profiles of water content and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin

Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Arnau, J., Gou, P.

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Unitat de Tecnologia de Processos. Centre de Tecnologia de la Carn. Granja Camps i Armet. E-17121 Monells. Girona. Spain.

ABSTRACT

This study compares the profiles of water activity (a_w), water content (X) and texture in loin with crusted surface versus those profiles in loin without crust, and establishes a mathematical model able to describe hardness based on a_w and/or X . Two loins (*m. longissimus dorsi*) were dry-cured, aged and then each one was divided into 4 pieces. Two of them were dried at 15 ± 2 °C, $50\pm 3\%$ RH (CL treatment) and the other two were dried at 2 ± 2 °C, $80\pm 3\%$ RH (NCL treatment). The pieces of CL were dried under more severe conditions in order to develop a crust on the surface. Three-millimetre thick slices were taken from the most external part towards the inner part. The slices were prepared ($10\times 10\times 3$ mm) for texture profile analysis (TPA). Measurements of a_w and X were carried out on each slice. Variance analyses and non-linear regression analyses were performed to create a model for loin hardness prediction through X and/or a_w and a linear regression model for cohesiveness and springiness. CL loins show a higher hardness and chewiness and lower cohesiveness at the surface (3-mm thickness) than the NCL loins. Hardness and chewiness, fitted with a non-linear model, were better described by X than by a_w . Springiness showed a low relationship with X and a_w . The on-line monitoring of X and a_w at the surface of the product would enable an estimation of the profiles of water content, a_w and texture and it could be, therefore, a useful tool to avoid crusting.

Keywords: dry-cured loin, crust formation, texture, water activity, water content.

1. Introduction

Texture is one of the most important sensorial attributes in the process of selection and consumption of foods (Szczesniak, 2002; Moskowitz & Jacobs, 1987; Szczesniak, 1968; Szczesniak & Kleyn, 1963). The quality of cured meat products is affected by their texture, which depends on raw material characteristics and on some technological parameters (Guerrero, Gou & Arnau, 1999). In relation to the raw material characteristics, the genetic origin of animals (Gou, Guerrero & Arnau, 1995; Guerrero, Gou, Alonso & Arnau, 1996), the fat composition (Flores & Nieto, 1985) the pH (Guerrero, et al., 1999; Arnau, Guerrero & Sárraga, 1998; Buscailhon et al., 1994a) proteolytic potential (Schivazappa et al., 2002; Virgili, Parolari, Schivazappa, Soresi & Borri, 1995; Parolari, Virgili & Schivazappa, 1994) the sex and sexual condition (Bañon, Costa, Andreu, Gil & Garrido, 2002; Tabilo, Flores, Fiszman & Toldrá, 1999) have been related with texture.

The effects of technological parameters on the texture of cured-ham have also been investigated in several studies: the temperature of the process

(Arnau, Guerrero & Gou, 1997), the added salt (Arnau, 1991; Arnau, *et al.*, 1998), the unsuitable application of fat (Parolari, 1996), the processing time (Ruiz-Carrascal, Ventanas, Cava, Timón & García, 1998), the water content (Ruiz-Ramírez, Serra, Gou & Arnau, 2003; Ruiz-Carrascal, Ventanas, Cava, Andrés & García, 2000; Buscailhon et al., 1994b;) and the water activity (a_w) (Ruiz-Ramírez et al., 2003). One of the most important problems in cured meat products is the crust formation, which can be defined as a superficial layer, harder than the rest of the product. This superficial layer does not return to its original form when it is pressed and it could break under high stress.

The crust formation poses serious problems for the certification of the Serrano ham as a Guaranteed Traditional Speciality (ETG). According to ETG Serrano specifications, the moisture gradient between the outer part and the centre of the ham should not be higher than 12%. And the external parts should be homogenous and not crusted (Serrano foundation ham, 1998).

In spite of the importance of this

problem in dry-cured meat products, studies describing profiles of water content and texture in crusted products have not been found. The objective of the present study is to describe the profiles of a_w , water content and texture in crusted dry-cured loin versus non-crusted dry-cured loin.

2. Materials and methods

2.1 Dry-cured loin and sample preparation

Two loins (*m. longissimus dorsi*) were cured with a dry salt mixture of 30 g of NaCl, 0.2 g NaNO₂, 0.2 g KNO₃ and 2 g of pepper per kg of loin. After resting 8 days in salt at 3 ± 2 °C, the loins were stuffed into regenerated collagen casings and kept for 5 days at 2 ± 1 °C. They were stored for 2 days in a drying room at 10 ± 1 °C and 75-85% RH, and then for 45 days at 12 ± 1 °C and 70-80% RH. Afterwards, the casings were removed from the loins and these were brushed to eliminate the remaining salting mixture. The two dry-cured loins were vacuum packed and kept at 3 ± 2 °C for two months to allow homogenisation of NaCl and water throughout the piece. Finally, each dry-cured loin was

divided into 4 pieces (1-cm slice from each end was previously removed). Two alternate pieces of each dry-cured loin were assigned to each treatment: crusted loin (CL) and non-crusted loin (NCL).

The 8 dry-cured loin pieces were wrapped in five layers of PVC film (film permeability: 145 g H₂O/m²/day at 25 °C and 75% RH) with the exception of one of the two cut faces (perpendicular to the long axis of the loin), which was left unwrapped. The four dry-cured loin pieces of CL treatment were placed in a drying tunnel at 15 ± 2 °C, 50 ± 3 % RH and 0.2-0.3 m/s air speed until the sample surface was evaluated as highly crusted. The four loin pieces of the NCL were placed in a drying tunnel at 2 ± 2 °C, 80 ± 3 % RH and an air speed of 0.2-0.3 m/s for 8 days.

A total of six slices (3-mm thickness), identified from 1 to 6 from the surface to the inside zone, were obtained from each piece of dry-cured loin (four pieces CL and four pieces NCL). The slices were individually packaged in 99.8 ± 0.1 % N₂ and 0.1 ± 0.1 % O₂ atmosphere (bags of polyamide and polyethylene SACOLIVA ®

permeability: 2.6 g H₂O/(m²·day) at 23 °C and 85% RH) and stored at 15±1 °C for a minimum of 18 days with the purpose of sample homogenisation.

2.2 Texture analysis

A texture Analyser (Universal MTS Alliance model. RT/5, SEM, Barcelona, Spain) was used to carry out a Texture Profile Analysis (TPA). Before carrying out texture analyses nitrogen-packed samples were kept for one hour at room temperature. The cores of the dry-cured loin slices were accurately cut with a scalpel into 10×10×3 mm (length × width × height) pieces and triplicates were obtained. The samples were compressed twice to 50% of their original height ($t = 0$ between the two compressions). Force-time curves were recorded at cross-head speed of 1 mm/s. The following parameters were calculated: hardness (kg), springiness (dimensionless), cohesiveness (dimensionless) and chewiness (kg) as a product of hardness × cohesiveness × springiness.

2.3 Measurement of water activity (a_w) and water content (X)

The parallelepiped samples used for TPA analysis were immediately cut up and two disposable plastic bags were

filled and sealed with tape until subsequent a_w determination. The a_w measurement was carried out at 25 °C with a Novasina AW-SPRINT-TH 500 instrument (Axair Ltd., Pfäffikon, Switzerland), which gives temperature controlled measurements. After measuring a_w , the water content of the samples was immediately determined by drying at 103±2 °C until reaching constant weight (AOAC, 1990). Water content of the samples was expressed on a dry matter basis (DM) ($X = \text{kg H}_2\text{O} / \text{kg DM}$).

2.4 Physicochemical analysis

The remaining sample of each piece of loin was ground and used for physicochemical analyses. Sodium chloride content was determined with a chloride analyser Technicon™ (Berman, 1976), total protein by Kjeldahl method and water content by drying at 103±2 °C until reaching constant weight (AOAC, 1990). The fat content was determined according to the Soxhlet method (ISO 1443, 1973) and pH was measured with a xerolyt penetration electrode (Crison).

2.5 Statistical analysis

A Principal Component Analysis

was performed on textural parameters and X and a_w using the FACTOR procedure of the SAS package (SAS, 1999).

Texture parameters, a_w and X were analysed by using the General Linear Model (GLM) of the SAS package. The model included loin (block) and treatment (CL or NCL) as fixed effects. Also a non-linear regression analysis was made (Proc NLIN of the SAS) with the purpose of describing the hardness of the loin through X and/or a_w and a linear regression analysis for the cohesiveness.

3. Results and discussion

The average and standard deviation of the physicochemical parameters of the pieces of cured-loins were the following: pH 6.03 ± 0.12 , water content 1.43 ± 0.19 (DM), fat $4.49 \pm 1.61\%$ (DM), protein $80.15 \pm 4.21\%$ (DM), NaCl $11.25 \pm 1.43\%$ (DM). They were similar to those reported by Gisbert, Gou, Pascual & López (2000) and Hernández, Navarro & Toldrá (1999).

Figure 1 shows the results of Principal Component Analysis. The first component is described by

hardness, chewiness, cohesiveness, a_w and X , while the second one is mainly described by springiness.

X and a_w are positively correlated with cohesiveness and negatively correlated with hardness and chewiness. The correlation between springiness and X or a_w is low, suggesting that in the range of values studied it depends on other meat properties.

Drier samples showed higher hardness. Similar results on fish muscle are stated in the review by Hyldig & Nielsen (2001). This is due in part to the fact that during the drying of meat products there is a product shrinkage proportional to the water loss (Potter, 1986), increasing the dry matter content of the sample used in texture analysis. Moreover, Randall and Bratzler, (1970) proposed that drying of meat promotes a closer contact between proteins and new interactions are formed, also increasing the hardness.

Stanley and Yada (1992) postulate that among non-covalent interactions which affect the structural conformation, the hydrophobic interactions seem to be the most important in food proteins such as muscle contractile proteins. Hydrophobic interactions are

not classified as true bonding, but result from apolar side chains associating to avoid contact with polar solvents, of which water is the primary example. Hydrophobic interactions are fostered by orienting themselves toward the interior of the protein, where a lower dielectric constant is found. The number of apolar groups, their degree of hydrophobicity, and their location in the chain determine the overall contribution of hydrophobic interactions to protein structure.

Hardness and cohesiveness were negatively correlated. The cohesiveness, as has been evaluated in this study, might be the capacity of the sample to maintain the interactions after the first compression cycle of the TPA. These interactions affect the sample structure that offers resistance to the compression. Samples were compressed to 50% of the thickness. Therefore, dry samples, which were harder than humid ones, would need more energy to achieve the required compression. It is supposed that higher energy broke more intensively the interactions between proteins and consequently cohesiveness from TPA

was lower.

Table 1 shows the means and standard deviations of hardness, springiness, cohesiveness, chewiness, a_w and X in slices sampled at different depths in the CL and NCL loins. In general, the more superficial slice presented higher hardness and chewiness and lower cohesiveness, springiness, a_w and X than the rest of the slices. Hardness and chewiness were higher in CL than NCL especially in slices close to the surface. The cohesiveness and springiness were not significantly different between CL and NCL in any slice. However, cohesiveness tended to be lower in CL than in NCL for slices close to the surface. The a_w and X in CL was lower than in NCL, especially in slices close to the surface. Szczesniak (2002) reported excellent correlations between instrumental and sensory ratings for hardness. In CL loins there was an important gradient of hardness between the first and the second slices, which could be related with crustiness.

However, the maximum hardness of NCL (24.4 kg) was only clearly surpassed by the first slice of CL (86.9 kg). Therefore, the instrumental hardness

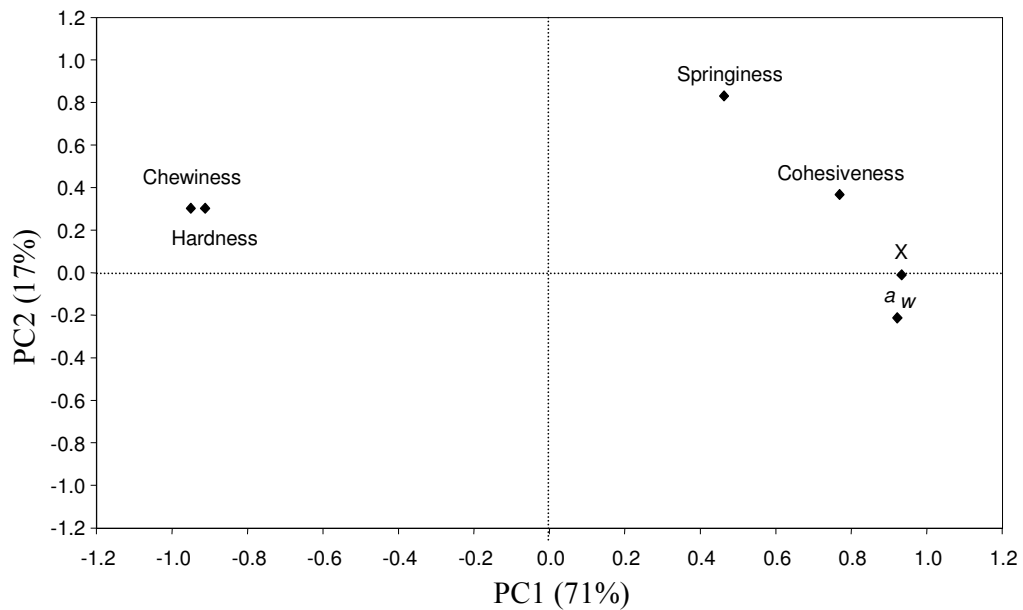


Fig. 1. Principal component analysis for texture (TPA) variables, water activity (a_w) and water content (X).

of the surface slice in CL loins would mainly explain the tactile perception of crust carried out by specialists.

Slices with similar a_w in different treatments showed important differences in hardness. Thus, in NCL with $a_w = 0.897$ (in Slice 1) hardness was 24.4 kg, while in CL with $a_w = 0.893$ (in slice 4) it was 11.3 kg. However, slices with similar water content showed similar hardness. For instance, in NCL with $X = 0.8$, 1.2 and 1.3 hardness was 24.4, 9.5 and 6.4 respectively while in CL with $X = 0.7$, 1.2 and 1.3 hardness was 28.4, 7.8 and 8.6 respectively. These results indicate that hardness is more related to X than

to a_w .

Figure 2 shows non-linear relationships of a_w and X with hardness. Hardness slightly increases when a_w decreases from 0.910 to 0.870 or when X decreases from 1.4 to 0.8. However, below those critical values ($a_{wc} = 0.870$; $X_c = 0.8$) a dramatic increase of hardness takes place. Therefore, the same difference in X would produce a different effect on hardness depending on whether the X value is over or below 0.8. The a_w in the meat product surface depends on the RH of the drying air and the relationship between both internal and external water transfer (Gou, Comaposada, Arnau

Table 1. Means values $\pm$ standard deviation of texture profile analysis, water activity (a_w) and water content (X), for each treatment and slice

Slice	Hardness (kg)			Cohesiveness			Springiness			Chewiness (kg)			$a_w \times 100$			X		
	NCL	CL	Sig	NCL	CL	Sig	NCL	CL	Sig	NCL	CL	Sig	NCL	CL	Sig	NCL	CL	Sig
1	24.4 $\pm$ 6.1	86.9 $\pm$ 18.7	**	0.45 $\pm$ 0.02	0.39 $\pm$ 0.08	NS	0.45 $\pm$ 0.01	0.50 $\pm$ 0.10	NS	4.9 $\pm$ 1.4	17.6 $\pm$ 7.0	**	89.7 $\pm$ 1.2	81.1 $\pm$ 1.2	**	0.8 $\pm$ 0.03	0.4 $\pm$ 0.04	**
2	9.5 $\pm$ 2.4	28.4 $\pm$ 15.7	*	0.53 $\pm$ 0.04	0.48 $\pm$ 0.01	NS	0.54 $\pm$ 0.03	0.48 $\pm$ 0.02	NS	2.6 $\pm$ 0.4	6.7 $\pm$ 4.0	*	91.1 $\pm$ 0.7	86.0 $\pm$ 0.5	**	1.2 $\pm$ 0.05	0.7 $\pm$ 0.11	**
3	6.4 $\pm$ 1.5	19.3 $\pm$ 12.2	*	0.53 $\pm$ 0.04	0.52 $\pm$ 0.02	NS	0.55 $\pm$ 0.02	0.52 $\pm$ 0.03	NS	1.8 $\pm$ 0.3	5.1 $\pm$ 3.0	*	92.2 $\pm$ 0.3	88.3 $\pm$ 0.5	**	1.3 $\pm$ 0.15	1.0 $\pm$ 0.11	**
4	5.5 $\pm$ 1.2	11.3 $\pm$ 5.1	*	0.55 $\pm$ 0.03	0.55 $\pm$ 0.03	NS	0.56 $\pm$ 0.02	0.54 $\pm$ 0.01	NS	1.7 $\pm$ 0.3	3.3 $\pm$ 1.3	*	92.4 $\pm$ 0.2	89.3 $\pm$ 0.7	**	1.4 $\pm$ 0.08	1.1 $\pm$ 0.15	**
5	5.4 $\pm$ 1.1	7.8 $\pm$ 2.1	*	0.53 $\pm$ 0.03	0.53 $\pm$ 0.06	NS	0.54 $\pm$ 0.02	0.55 $\pm$ 0.01	NS	1.5 $\pm$ 0.2	2.2 $\pm$ 0.3	**	92.8 $\pm$ 0.2	90.3 $\pm$ 0.7	**	1.5 $\pm$ 0.09	1.2 $\pm$ 0.14	**
6	5.2 $\pm$ 0.1	8.6 $\pm$ 4.3	NS	0.50 $\pm$ 0.01	0.54 $\pm$ 0.03	NS	0.50 $\pm$ 0.02	0.53 $\pm$ 0.01	NS	1.3 $\pm$ 0.1	2.4 $\pm$ 1.1	*	92.9 $\pm$ 0.2	90.8 $\pm$ 0.7	**	1.5 $\pm$ 0.06	1.3 $\pm$ 0.17	**

NCL = non-cruised dry-cured loin; CL = cruised dry-cured loin; X = kg H₂O/kg dry matter; Sig = significance

Slice 1 = surface.

Slice 6 = inside zone.

* $P \leq 0.05$.

** $P \leq 0.01$.

& Pakowski, 2003).

When meat products are dried at RH below 86%, which is advisable from a microbiological point of view (Leistner, 1986), the surface a_w and X can achieve those critical values, especially when high air speed is used, and then a crusted surface can be formed. Therefore, the parameters of the drying process can be adjusted to maintain the value of either a_w or X in the surface over their critical values. The knowledge of the a_w values at the surface would facilitate the improvement of the drying technology of meat products.

In the same way, Serra et al. (2005) also found critical values for X (about 0.55) and for a_w (about 0.7) (Figure 2) in *biceps femoris* muscles of dry-cured hams. However, these values are lower than those found in the present study.

This could be due to the intrinsic characteristics of the muscle studied (*longissimus dorsi* versus *biceps femoris*) and to the differences in the drying process conditions, ie.: lower NaCl content and expected lower proteolysis in loins than in *biceps femoris* muscle from hams aged for 12 months. Some of these parameters

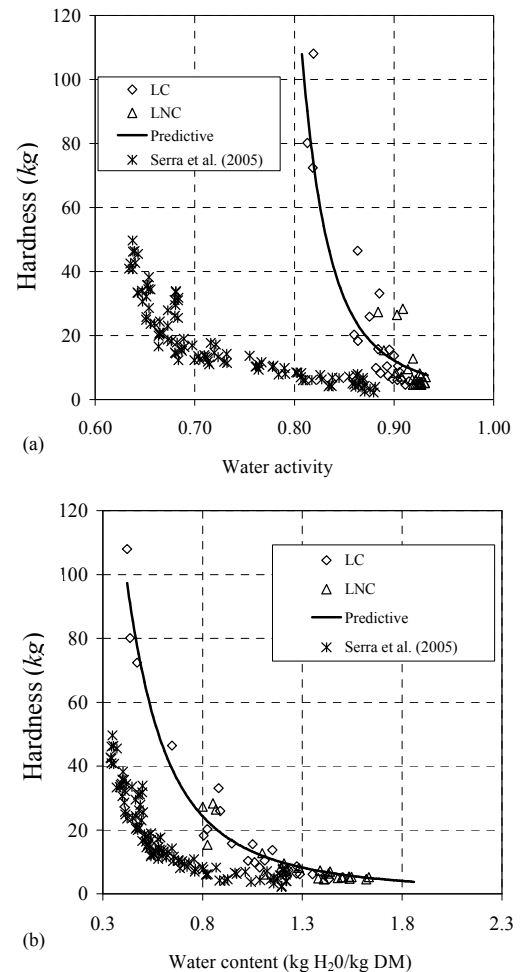


Figure 2. Hardness versus water activity (a) and water content (b). Experimental points = ◇ crusted loin, Δ non crusted loin, * dry-cured ham (Serra *et al.*, 2005), — predicted hardness ($Y = 1/(a + b \cdot x + c \cdot x^2)$).

could influence protein-protein interaction and consequently the texture of the product (Randall & Bratzler, 1970).

On the contrary, Ruiz-Carrascal et al. (2000) did not find any relationship between water content (in the range of

X between 0.25 and 0.99) and hardness evaluated by a trained panel on 0.5-mm thick slices of Iberian dry-cured ham. This lack of relationship could be due to the extreme thinness of the slices and to the high variability in intramuscular fat content of their samples.

3.1. Mathematical models.

The following non-linear model was used for the hardness and chewiness variables: $Y = 1/(a + b*x + c*x^2)$. Cohesiveness was fitted to the following linear model: $Y = a + b*x$. Figures 2 and 3 show the relationship of X and a_w with hardness and cohesiveness. Values of the statistical parameters used in both models are shown in Table 2. In general, models based on X fitted better than those based on a_w . Linear models for cohesiveness showed low coefficients of determination (R^2) and linear models for springiness were not statistically significant (data not shown). Similar results were obtained in dry-cured ham *Biceps femoris* samples by Ruiz-Ramírez et al. (2003).

Hardness is the texture parameter best described by the models, especially by the model based on X . This

model will enable the estimation of

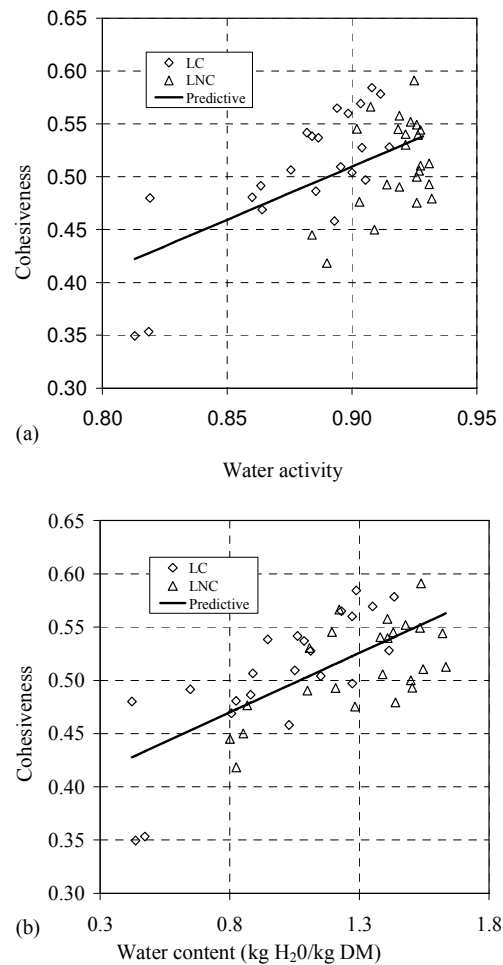


Figure 3. Cohesiveness versus water activity (a) and water content (b). Experimental points = $\diamond$ crusted loin, Δ non crusted loin, — predicted cohesiveness ($Y = a + b*x$).

profiles of hardness in the product from the profiles of X . The profiles of X can be obtained from diffusive models (Gou, Comaposada & Arnau; 2003a), where the a_w and X at the surface of the products need to be known. On line methods to determine water activity at the surface (Rödel &

Table 2. Mathematical model $Y = 1/(a + b \cdot x + c \cdot x^2)$ for hardness and chewiness, and $Y = a + bx$ for cohesiveness

Y	Model with a_w						Model with X					
	a	b	c	R ²	RMSE	P	a	b	c	R ²	RMSE	P
Hardness (Kg)	3.1551	-8.0942	5.1993	0.89	7.29	0.001	0.0062	-0.0283	0.0897	0.96	4.41	0.001
Chewiness (kg)	26.581	-64.957	39.7691	0.78	2.13	0.001	-0.0888	0.2819	0.0936	0.90	1.45	0.001
Cohesiveness	0.3944	1.0044	-	0.33	0.04	0.001	0.3806	0.1116	-	0.46	0.04	0.001

a_w , water activity; X, water content (X, kg H₂O/kg dry matter).

a, b and c = parameters of the model.

R² = coefficient of determination.

RMSE = residual standard deviation.

Stiebing, 1988; Stiebing & Rödel, 1992; Gou et al., 2003b) and water content at the surface (Mishiro et al., 1995) could be useful for monitoring these parameters and to estimate texture profile and avoid crusting.

4. Conclusions

Crusted loins were characterized by showing a higher hardness and chewiness and lower cohesiveness at the surface (3-mm thick) than the non-crusted loins. Springiness showed low relationships with X and a_w . Hardness and chewiness, fitted with a non-linear model, were better described by X than by a_w . The on-line monitoring of X and a_w could be a useful tool to avoid crusting.

Acknowledgements

This research was financed by the

Spanish Ministry of Science and Technology (AGL2000-0517-P4-04 project). Grant 20002000330 by the Venezuelan Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) to finance J. Ruiz-Ramírez Ph.D. studies in Food Science at Universitat Autònoma de Barcelona is acknowledged.

References

- AOAC (1990). *Association of Official Analytical Chemist*. 15th Ed, Arlington, Virginia, pp 931-935.
- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Tesis, Universidad Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinaria, España.
- Arnau, J., Guerrero, L., & Gou, P. (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged for six months. *Journal of the Science of Food and*

- Agriculture*, 74, 193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L., & Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and the sensory characteristics of dry-cured hams. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 387-392.
- Bañon, S., Costa, E., Andreu, C., Gil M. D., & Garrido, M. D. (2002). Boar taint perception in cooked and dry-cured meat. *48th ICoMST*. Roma. 126-127.
- Berman, N. C. (1976). Automated system for sodium nitrite, sodium nitrate and sodium chloride in meat products. *7th Technicon International Congress*. December, New York.
- Buscailhon, S., Berdagué, J. L., Gandemer, G., Touraille, C., & Monin, G. (1994a). Effects of initial pH on compositional changes and sensory traits of french dry-cured hams. *Journal of Muscle Foods*, 5 (3), 257-270.
- Buscailhon, S., Berdagué, J. L., Bousset, J., Cornet, M., Gandemer, G., Touraille, C., & Monin, G. (1994b). Relations between compositional traits and sensory qualities of french dry-cured ham. *Meat Science*, 37, 229-243.
- Flores, J., & Nieto, P. (1985). Cambios en los lípidos del jamón durante el proceso de curado lento y rápido, y su relación con la calidad. *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 25 (1): 117-124.
- Fundación Jamón Serrano. (1998). Pliego de condiciones para la elaboración del Jamón Serrano.
- Gisbert, M., Gou, P., Pascual, A., & Lopez, N. (2000). Water diffusion in dry-cured loin. *12th International Drying Symposium*. Noordwijkerhout, the Nederland. Paper No. 320.
- Gou, P., Guerrero, L., & Arnau, J. (1995). Sex and breed cross effects on dry cured ham characteristics. *Meat Science*, 40, 21-31.
- Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2003a). NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of pork ham. *Meat Science*, 63, 29-34.
- Gou, P., Comaposada, J., Arnau, J., & Pakowski, Z. (2003b). On-line measurement of water activity at the lean surface of meat products. *10th Drying Symposium*, Lodz, Poland, pp 469-476.
- Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P., & Arnau, J. (1996). Study of the physico-chemical and sensorial characteristic of dry-cured hams in three pig genetic types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70, 526-530.
- Guerrero, L., Gou, P., & Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and sensory textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.
- Hernández, P., Navarro, J., & Toldrá, F. (1999). Lipolytic and oxidative changes in two Spanish for loin products: dry-cured loin and pickled-cured loin. *Meat Science*, 51, 123-128.
- Hyldig, G., & Nielsen, D. (2001). A review of sensory and instrumental methods used to evaluate the texture of fish muscle. *Journal of Texture Studies*, 32, 219-242.
- ISO 1443: 1973. Determination of total fat content. Geneva: International Organization for Standardization.

- Leistner, L. (1986). Allgemeines über Rohschinken. *Fleischwirtschaft*, 66 (4), 496-510.
- Mishiro, T., Sugiyama, M., Minegishi, Y., Abe, H., Kawano, S., & Iwamoto, M. (1995). Non-destructive determination content in dry sausage using near infrared (NIR) transmittance method. *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology*, 42 (6), 436-441.
- Moskowitz, H., & Jacobs, B. (1987). Consumer evaluation and optimization of food texture. In H. R. Moskowitz, (Ed.), *Food texture*. New York: Marcel Dekker, Inc. 335
- 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, 117-122.
- Parolari, G. (1996). Review. Achievements, needs and perspectives in dry-cured ham technology: the example of Parma ham. *Food Science and Technology International*, 2, 69-78.
- Potter, N. (1986). Food dehydration and concentration. In *Food Science*. (Cap. 10, pp 246-302). New York: The Avi Publishing Company, Inc.
- Randall, C., & Bratzler, L. (1970). Changes in various protein properties of pork muscle during smoking process. *Journal of Food Science*, 45, 248-249.
- Rödel, W., & Stiebing, A. (1988). Continuous measurement of the ripening pattern in dry sausage. *Fleischwirtschaft*, 68 (11), 1423-1426.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A., & García, C. (2000). Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, 33, 91-95.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Timón, M., & García, C. (1998). Sensory characteristics of Iberian ham: influence of processing time and slice location. *Food Research International*. 31, 53-58.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J. (2003). Efecto de la actividad de agua y contenido de agua sobre la textura del jamón curado. *Comunicación en: II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- Schivazappa, C., Degni, M., Nanni Costa, L., Russo, V., Buttazzoni, L., & Virgili, R. (2002). Analysis of raw meat to predict proteolysis in Parma ham. *Meat Science*, 60, 77-83.
- Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., & Gou, P. (2005). Texture parameters of dry-cured ham m. *biceps femoris* samples dried at different levels as a function of water activity and water content. *Meat Science*, 69, 249-254.
- Stanley, D., & Yada, Y. (1992). Physical consequences of thermal reactions in food protein systems. In H. G. Schwartzberg & R. W. Hartel. *Physical chemistry of foods* (Cap. 16, pp 669-689). New York: Marcel Dekker. Inc.
- SAS Institute. (1999). Statistical Analysis System Release 8.01. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Stiebing, A., & Rödel, W. (1992). The continuous measurement of surface water activity in dry sausage. *Fleischwirtschaft*, 72 (11),

- 1547-1549.
- Szczesniak, A., & Kleyn, D. (1963). Consumer awareness of texture and other food attributes. *Food Technology*, 17(1), 74-78.
- Szczesniak, A. (1968). Correlations between objective and sensory texture measurements. *Food Technology*, 22, 981-983, 985-986.
- Szczesniak, A. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-225.
- Tabilo, G. Flores, M. Fiszman, S., & Toldrá, F. (1999). *Postmortem* meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Soresi, C., & Borri, M. (1995). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60 (6): 1183-1186.

CAPÍTULO

SEXTO

**RELATIONSHIP BETWEEN WATER CONTENT, NaCl CONTENT, pH AND
TEXTURE PARAMETERS IN DRY-CURED MUSCLES**

**RELACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA, NaCl Y pH CON LOS
PARÁMETROS DE TEXTURA EN MÚSCULOS CURADOS**

El contenido de este estudio ha sido publicado en la revista Meat Science 70
(2005) 579-587

Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles

Ruiz-Ramírez, J. Arnau, X. Serra, P. Gou

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Unitat de Tecnologia i Enginyeria de Processos. Centre de Tecnologia de la Carn, Granja Camps i Armet s/n, 17121 Monells, Girona, Spain

ABSTRACT

The aim of the present study was to describe the effect of NaCl and pH on the relationship between water content and hardness, cohesiveness and springiness in dry-cured muscles. The experiment was undertaken using 18 hams, selected in a commercial slaughterhouse. Half of the hams had a $\text{pH} < 5.7$ and the rest a $\text{pH} > 6.2$, measured on the *semimembranosus* muscle at 24-h *post mortem*. The *semimembranosus* and *biceps femoris* muscles were cut from hams, cured and individually packaged in bags and were laid in trays in a room at 2 ± 2 °C for 45 days. Thereafter nine samples from each muscle were shaped like a parallelepiped and dried until different levels of drying, ranging from 28.5 to 59.7% water content, were attained. The rest of the muscle was ground and packaged until its subsequent physicochemical analysis. At the end of the drying period, a Texture Profile Analysis was used to determine textural parameters. The results indicated that for a range of X (kg H_2O /kg dry matter) between 0.8 and 1.3 the hardness remains practically unchanged while for $X < 0.6$ the hardness increases substantially. The samples from hams with low pH_{SM} had greater hardness, cohesiveness and springiness than those from hams with high pH_{SM} . Dry-cured muscles with lower NaCl content showed lower hardness, cohesiveness and springiness, especially in those with $\text{pH}_{\text{SM}} > 6.2$. At X values lower than 0.6 the hardness was more influenced by water content than by NaCl content or pH_{SM} .

Keywords: Hardness, water content, pH, NaCl, dry-cured meat.

1. Introduction

The dry-cured ham process involves a long drying period that produces a gradient in hardness of the product. A high superficial hardness could cause crust formation, which is one of the greatest problems in dry-cured meat products. This problem is related to a high drying rate of the outer part while in the inner part there is a high moisture content. The water diffusion rate from the inner zone does not reduce the high dehydration rate on the surface and consequently it hardens and forms a crust (Flores, 2001). The experimental relationship between hardness and water content has been reported (Virgili, Parolari, Schivazappa, Bordini & Borri, 1995; Monin, Virgili, Cornet, Gandemer & Grasso, 1995; Ruiz-Ramírez, Serra, Gou & Arnau, 2003; Serra, Ruiz-Ramírez, Arnau & Gou, 2005), but no published attempt has been found describing the effect of NaCl and pH on this relationship.

The effects of pH and NaCl content on the texture of dry-cured meat products have been examined in previous studies. Arnau, Guerrero, Maneja and Gou (1992); Arnau,

Guerrero and Sárraga (1998) and Guerrero, Gou and Arnau (1999) found higher hardness (measured by sensory analysis) in $\text{pH}_{24} < 5.8$ hams than in $\text{pH}_{24} > 6.2$ hams. Whereas, Magraner, Sánchez, Gisbert, Sanjuán and López (2003) associated pH_{24} from 5.6 to 6.0 with harder dry-cured hams than hams with $\text{pH} < 5.6$. On the other hand, Tabilo, Flores, Fiszman and Toldrá (1999) did not find any difference for cohesiveness and springiness among dry-cured hams with $\text{pH}_{2h} > 5.8$ and $\text{pH}_{24h} < 6.0$ and dry-cured hams with $\text{pH}_{24h} > 6.0$. After 45 days of processing Guerrero et al. (1999) found lower hardness and cohesiveness in hams with $\text{pH}_{24h} > 6.2$ than in hams with $\text{pH}_{24h} < 5.8$ but no differences in springiness were detected.

On the other hand, dry-cured hams salted at different levels showed different texture characteristics. Pastiness in *biceps femoris* increased when NaCl content diminished (Arnau, 1991; Arnau et al., 1998; García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador & Luque de Castro, 1999; Guerrero, Gelabert, Gou, Guardia & Arnau, 2000; García-Rey, García-Garrido, Quiles-Zafra,

Tapiador & Luque de Castro, 2004), due to the increase in proteolytic activity (Sárraga, Gil, Arnau, Monfort & Cussó, 1989).

Arnau et al. (1998) did not find any significant difference on hardness evaluated by a panel test in *biceps femoris* muscles of dry-cured hams containing 18.9% vs 24.8% of NaCl on dry matter. However, Guerrero et al. (2000) found a decrease in hardness when the added NaCl was reduced from 60 g/kg to 48 or 36 g/kg. Moreover, sensorial hardness in *biceps femoris* muscles of dry-cured Iberian hams decreased when NaCl was reduced from 6% to 3% (Andrés, Cava, Ventanas, Thovar & Ruiz, 2004). In all those studies, it is difficult to separate the effect of water content from the effect of NaCl content on hardness. The aim of the present study was to describe the effect of NaCl and pH on the relationship between water content and hardness, cohesiveness and springiness in dry-cured muscles.

2. Materials and methods

2.1 Dry-cured muscles and sample preparation

This experiment was undertaken

using 18 hams. Hams were selected by pH measured on *semimembranosus* (SM) at 24-h post mortem. The low pH_{SM} group had pH_{SM} < 5.7 and the high pH_{SM} by group had pH_{SM} > 6.2. The pH was measured with a combined electrode (Ingold 406, Ingold, Urdof, Switzerland) attached to a portable pH-meter (Crison 507, Crison Instruments S. A, Barcelona, Spain). The SM and *biceps femoris* (BF) muscles were removed from the hams and manually rubbed with a mixture of 0.5 g of KNO₃, 0.3 g of NaNO₂ and depending on treatment with 20, 50 and 80 g of NaCl per kg of muscle. These muscles were individually vacuum packed in bags of polyamide and polyethylene (SACO-LIVA® permeability: 2.6 g H₂O/m²/day at 23 °C/85%RH) and were placed horizontally in trays at 2±2 °C for 45 days (curing period). Thereafter nine samples from each muscle (N=324) were shaped as a parallelepiped (4x2x2 cm). The rest of the muscle was ground and vacuum packed in metallic bags (SACOLIVA® permeability: < 1 mg H₂O/m²/day, to 23 °C/85% HR), and stored at 2±2 °C for further physicochemical

analysis. Each parallelepiped was weighed and then it was dried in a drying tunnel at 3 ± 2 °C, $57.5\pm 2.5\%$ RH and 1m/s air speed, until levels of drying, ranging from 28.5 to 59.7% water content, were reached. The dried samples were individually packaged in $99.8\pm 0.1\%$ N₂ and $0.1\pm 0.1\%$ O₂ atmosphere in bags of polyamide and polyethylene (SACOLIVA®) and kept at 2 ± 2 °C for a minimum of 30 days to improve water content equalization.

2.2 Texture analysis

A texture Analyser (Universal MTS Alliance model. RT/5, SEM, Barcelona, Spain) was used to carry out a Texture Profile Analysis (TPA) (Bourne, 1978). Nitrogen-packed samples were kept for one hour at room temperature before carrying out texture analyses. The cores of the dry-cured muscle were accurately carved with a scalpel into $10 \times 10 \times 10$ mm (length $\times$ width $\times$ height) cubes and triplicates were obtained. The samples were compressed twice to 50% of their original height (time between the two compression cycles=0). Force-time curves were recorded at a crosshead speed of 1 mm/s. The following

parameters were calculated: hardness (kg), springiness (dimensionless) and cohesiveness (dimensionless).

Hardness was defined as “the maximum peak force during the first compression cycle”. Cohesiveness as the “ratio between the positive force area during the second compression cycle and that during the first compression cycle, excluding the areas under the decompression portion in each cycle” and springiness as “the height that the food recovers during the time that elapses between the end of the first bite and the start of the second bite” (Bourne, 1978).

2.3 Measurement of water content (X)

The parallelepiped samples used for TPA analysis were immediately cut up and water content was determined by drying at 103 ± 2 °C to a constant weight (AOAC, 1990). Water content of the samples was expressed on a dry matter basis (DM) ($X = \text{kg H}_2\text{O} / \text{kg DM}$).

2.4 Physicochemical analysis

The remaining sample of each muscle was ground and used for physicochemical analyses. Sodium chloride content was determined with a chloride analyser Technicon™ (Berman, 1976). Total nitrogen (TN)

by Kjeldahl method and total intramuscular fat (IMF) by ISO (1973) method were determined. Both variables were expressed on a desalted dry matter basis (DM-NaCl). The pH was measured with a xerolyt penetration electrode (Crison) and water content by AOAC method (1990). Water content of dry-cured muscles was expressed as water content on a desalted wet matter basis. Non-protein nitrogen content was determined by precipitation of proteins with trichloroacetic acid (Kerese, 1984) followed by determination of the nitrogen in the extract with the Kjeldahl method. NaCl was expressed as a percentage on dry matter basis, protein content ($\text{NT} \times 6.25$) and IMF on desalted dry matter basis (DM-NaCl).

2.5 Statistical analysis

All the statistical analyses were carried out with the SAS statistical package (SAS Institute, 1999). Physicochemical data were analysed using the General Linear Model (GLM) procedure. The model included the initial pH_{SM} group, added NaCl level and muscle as main effects and their interactions. The Duncan multiple range test was used to detect differen-

ces among means. Hardness on X was fitted to an asymptotic non-linear equation (Eq. 1) proposed by Ruiz-Ramírez, Serra, Arnau and Gou (2005), using the NLIN procedure of SAS. Relationships of cohesiveness and springiness with X were fitted to a linear model (REG procedure of SAS).

$$y_i = \frac{1}{a + b \cdot x_i + c \cdot x_i^2} + e_i \quad (1)$$

Where

y_i is the i^{th} ($i = 1, \dots, n_i$) sample observation of the dependent variables.

a , b and c are the model parameters.

x_i is the i^{th} ($i = 1, \dots, n_i$) observation of the independent variable: X_i .

e_i is the error.

3. Results and discussion

Table 1 shows the means and standard deviations of physicochemical parameters by pH_{SM} group, added NaCl levels and muscle after curing for 45 days.

The desalted water content was higher in the high pH_{SM} group than in the low pH_{SM} group because of its

lower IMF content and its higher water holding capacity (Hamm, 1960). It was lower in hams with a higher added NaCl level due to the osmotic dehydration produced during the curing period. No difference was detected among muscles.

The cured muscles with high pH presented a lower IMF content and consequently a higher protein content than those with low pH_{SM}. This difference could be due to their different origin. They absorbed more NaCl during curing because of a lower IMF content and, consequently, a higher water content. In agreement with other studies (Candek-Potokar, Monin & Zlender, 2002; Maddock et al., 2002), the SM muscles showed lower IMF content than BF muscles. As was expected, the NaCl content increased when added NaCl levels increased. The interaction (pH_{SM} groups x muscle) for NaCl content was significant ($P < 0.05$). The lowest NaCl content was observed in BF muscles from the low pH_{SM} group (Table 2).

This could be due to its higher IMF content. Although results quantifying the effect of a greater IMF content on

NaCl diffusivity have not been found, a reduction of it is expected, because diffusivity values of NaCl are 8 times lower in subcutaneous fat than in lean meat (Fox, 1980).

Figure 1(a) shows the relationship between hardness and X for all dry-cured samples. Experimental data indicate that for a range of X between 0.8 and 1.3 the hardness remained practically unchanged while for $X < 0.6$ the hardness increased substantially. In other studies this substantial increase of hardness has been reported to occur at different X values according to the product, i.e.: 0.8 in dry-cured loin (Ruiz-Ramírez et al., 2005) and 0.56 in dry-cured ham (Serra et al., 2005), similar to that obtained in the present study. The different anatomical origin of the samples could be one of the reasons that explain the differences between ham and loin.

Figure 1(b) shows the predicted hardness by muscle. The BF tended to present a slightly greater hardness than SM at the same water content. This difference, though not significant ($P > 0.05$), shows the same tendency as those of Monin et al. (1997) who found higher hardness in BF than in

Table 1

Means ($\pm$ S.D) of physicochemical composition of *biceps femoris* and *semimembranosus* dry-cured muscles

Components %	pH _{SM} group		Added NaCl level			Muscle	
	High (> 6.2)	Low (<5.7)	Low (2%)	Medium (5%)	High (8%)	<i>Biceps femoris</i>	<i>Semimembranosus</i>
Desalted water content	75.08 $\pm$ 0.60 ^a	73.35 $\pm$ 0.95 ^b	74.59 $\pm$ 0.92 ^a	74.46 $\pm$ 0.85 ^a	73.60 $\pm$ 1.48 ^b	74.08 $\pm$ 1.29	74.35 $\pm$ 1.07
Protein (DM-NaCl)	86.66 $\pm$ 2.37 ^a	84.83 $\pm$ 2.70 ^b	85.25 $\pm$ 1.79	85.80 $\pm$ 2.79	86.18 $\pm$ 3.34	84.40 $\pm$ 2.36 ^b	87.09 $\pm$ 2.29 ^a
IMF (DM-NaCl)	8.49 $\pm$ 1.75 ^b	10.36 $\pm$ 2.10 ^a	9.34 $\pm$ 1.57	10.04 $\pm$ 2.00	8.90 $\pm$ 2.68	10.38 $\pm$ 2.07 ^a	8.48 $\pm$ 1.77 ^b
100·(NPN/TN)	13.82 $\pm$ 1.51	13.00 $\pm$ 0.99	13.68 $\pm$ 1.29	13.31 $\pm$ 1.52	13.25 $\pm$ 1.23	13.67 $\pm$ 1.31	13.16 $\pm$ 1.33
pH final	6.35 $\pm$ 0.14 ^a	5.81 $\pm$ 0.06 ^b	6.12 $\pm$ 0.35	6.08 $\pm$ 0.28	6.05 $\pm$ 0.27	6.06 $\pm$ 0.29	6.10 $\pm$ 0.30
NaCl (DM)	15.40 $\pm$ 5.58 ^a	14.33 $\pm$ 5.72 ^b	7.89 $\pm$ 0.76 ^a	16.10 $\pm$ 0.97 ^b	20.60 $\pm$ 1.27 ^c	14.66 $\pm$ 5.51	15.07 $\pm$ 5.51

Means with different letters in the same row (within each variable) are significantly different ($P < 0.05$).

DM = Dry matter basis.

DM-NaCl = Desalted dry matter basis.

Table 2

Means ($\pm$ S.D) of NaCl and IMF contents (%) by (pH_{SM} group x muscle) interaction

Cured muscle	pH _{SM} group	NaCl (DM)	IMF (DM-NaCl)
<i>Biceps femoris</i>	High	15.57 $\pm$ 5.57a	9.50 $\pm$ 1.75
	Low	13.75 $\pm$ 5.61b	11.25 $\pm$ 2.07
<i>Semimembranosus</i>	High	15.24 $\pm$ 5.58a	7.49 $\pm$ 1.09
	Low	14.90 $\pm$ 5.76a	9.47 $\pm$ 1.80

Means with different letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).High = pH_{SM} > 6.2; Low = pH_{SM} < 5.7.

DM = Dry matter basis.

DM-NaCl = Desalted dry matter basis.

SM in raw pork muscles.

Figure 1(c) shows the predicted hardness according to pH measured in the SM muscle (pH_{SM} groups). The samples from hams from the low pH_{SM} group presented slightly greater hardness than those from the high pH_{SM} group at X values from 0.6 to 1.3, but when X diminished below 0.6 the differences between samples with different pH_{SM} decreased. The lowering of the meat pH closer to the isoelectric point of myosin increases intermolecular linkages between negatively and positively charged groups (Hamm, 1986) increasing the hardness. Furthermore, favoured activity of calpains (Yu & Lee, 1986) that are active for several weeks (Koohmaraie, 1996), could decrease hardness in the

muscles with high pH. This result agrees with those reported by Arnau et al. (1998) and Guerrero et al. (1999), who found a higher hardness for low pH hams than for high pH hams at X values around 1.7. To obtain a certain hardness level, greater water losses are necessary in high pH_{SM} than in low pH_{SM} (Arnau et al., 1998). Hardness is also influenced by the NaCl content (Figures 2(a) and 2(b)). The muscles with higher NaCl content presented higher hardness. These results are probably due to the fact that when high NaCl contents are used there is a compaction of the myofibrillar structure (Shomer, Weinberg & Vasiliver, 1987) and an inhibitory effect of NaCl on the calpains activity (Geesink & Koohmaraie, 1999; 2000).

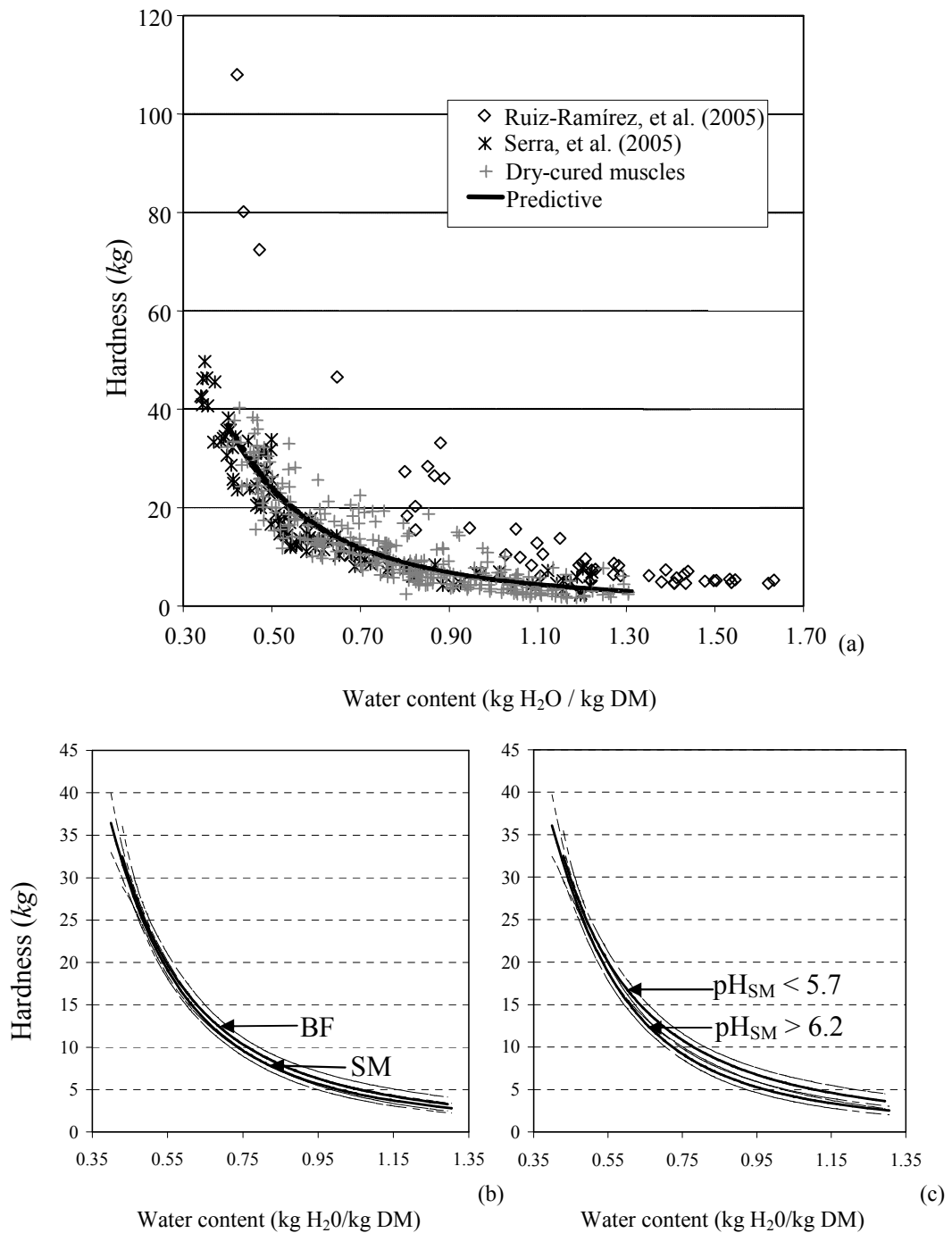


Figure 1. Hardness versus water content. Experimental points = $\diamond$ dry-cured loin (Ruiz-Ramírez, et al., 2005), $\ast$ dry-cured ham (Serra et al., 2005), $+$ dry-cured muscles, — predicted hardness $Y = 1/(a + b \cdot X + C \cdot X^2)$ (a), predicted hardness and confidence intervals versus water content by muscle (b) and by pH_{SM} (c) in dry-cured muscles.

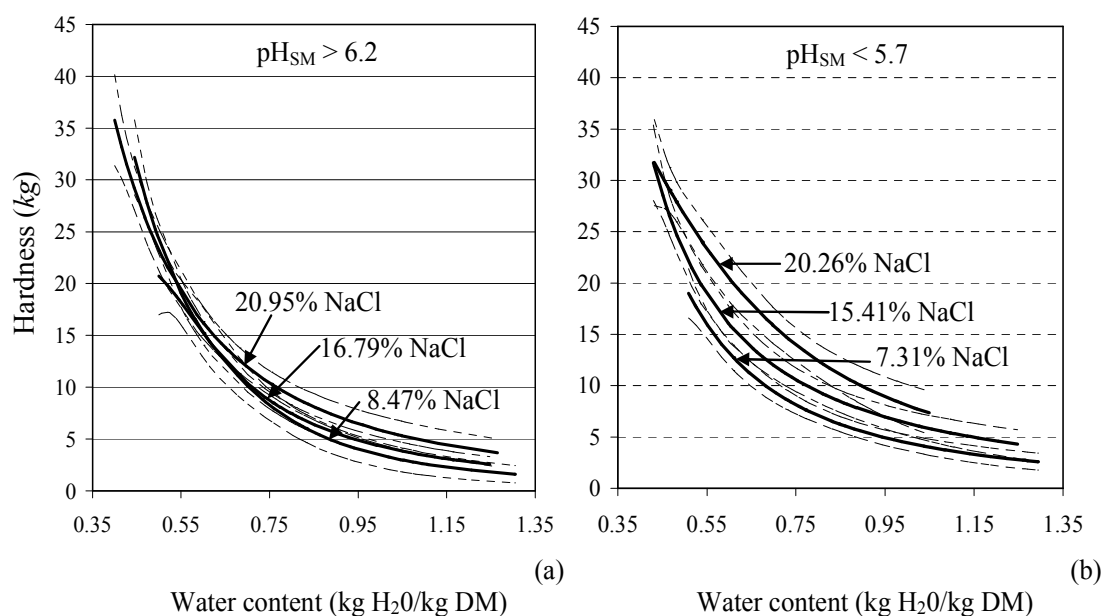


Figure 2. Predicted hardness and confidence intervals versus water content by NaCl content in dry-cured muscles with $pH_{SM} > 6.2$ (a) and $pH_{SM} < 5.7$ (b).

In this experiment the $100 \cdot (NPN / TN)$ relationship was not affected by NaCl content, probably due to the low storage temperature and the short curing and ageing time. Iseya, Sugiura and Saeki (1998) on dried fish and Guerrero et al. (2000) and Andrés et al. (2004) on dry-cured hams found higher hardness when the NaCl content was increased.

The NaCl effect was different depending on the pH_{SM} . The NaCl effect was more evident in samples from hams with low pH_{SM} (Fig. 2(b)) than in those from the high pH_{SM} group (Fig. 2(a)). In hams from the

low pH_{SM} group, those salted with a high NaCl level (8%) showed higher hardness than those salted with a 2% NaCl level ($P < 0.05$), but were not different than those salted with 5% NaCl in the range of $X > 0.8$ and $X < 0.5$. These results are similar to those obtained by Arnau, Guerrero and Gou (1997) and Arnau et al. (1998), who did not find any difference in sensorial hardness of hams with a different NaCl content: 16.5% vs 19.5% and 18.9% vs 24.8% on dry matter basis respectively.

The behaviour observed in the relationship between hardness and X

for the NaCl content was similar to that observed for pH_{SM} , in the sense that when the X values diminished below 0.6, the differences in the hardness among NaCl contents were lower. These results show that at X values below 0.6, the hardness is more influenced by the water content than by the NaCl content or pH. These X values are achieved on the surface layer of dry-cured ham at the end of the resting period (Arnau, Gou & Comaposada, 2003).

The estimates of parameters, the residual standard deviation (RMSE) and the coefficient of determination (R^2) of the equation (1) obtained from the non-linear regression analysis for all dry-cured samples (general model), by muscle, by pH_{SM} or by NaCl content are shown in Table 3. The lowest RMSE for the model was for samples of hams from the high pH_{SM} and 5% of NaCl content group and for those from the low pH_{SM} and 2% NaCl content group. Figs. 3(a) and 5(a) show the relationships between water content on a dry matter basis (X) and cohesiveness and springiness. Dry-cured-muscle cohesiveness and springiness showed a positive linear rela-

tionship with X , similar to that obtained in previous studies carried out by Serra et al. (2005) on dry-cured ham and Ruiz-Ramírez et al. (2005) on dry-cured loin.

Figures 3(b) and 5(b) show the predicted cohesiveness and springiness by muscle. The BF muscle tended to present a slightly greater cohesiveness and springiness than the SM muscle. Nevertheless, these were not statistically different ($P > 0.05$).

Figures 3(c) and 5(c) show the predicted cohesiveness and springiness according to the pH_{SM} groups. The samples from hams of the low pH_{SM} group presented greater cohesiveness and springiness than those from the high pH_{SM} group at X values from 0.67 to 1.3 ($P < 0.05$). But when X diminished below approximately 0.67 the differences between samples with different pH_{SM} groups were not significant.

Szczesniak (1963) defined sensorial cohesiveness as “the strength of the internal bonds making up the body of the product” and springiness as “the rate at which a deformed material goes back to its undeformed condition after the deforming force is removed”.

Table 3

Estimates of parameters from the non-linear regression of hardness ($1/(a+b \cdot X+c \cdot X^2)$) versus water content on dry mater basis (X)

		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R^2	RMSE
General model		0.0135	-0.0586	0.2320	0.83	3.61
By muscle*	BF	0.0074	-0.0325	0.2020	0.80	3.94
	SM	0.0188	-0.0836	0.2629	0.86	3.26
By pH_{SM}	pH _{SM} <5.7	0.0011	-0.0021	0.1654	0.81	3.90
	pH _{SM} >6.2	0.0291	-0.1293	0.3142	0.86	3.17
By NaCl content (pH_{SM}< 5.7)	2%	-0.0026	-0.0158	0.2424	0.83	2.18
	5%	-0.0221	0.0834	0.0964	0.86	3.31
	8%	0.0252	-0.0492	0.1480	0.79	4.28
By NaCl content (pH_{SM}> 6.2)	2%	0.1953	-0.6836	0.7793	0.79	3.22
	5%	0.0270	-0.1477	0.3524	0.91	2.37
	8%	0.0023	-0.0055	0.1740	0.86	3.55

a, *b* and *c* parameters of the model; R^2 , coefficient of determination; RMSE, residual standard deviation.

*BF = *biceps femoris*; SM = *semimembranosus*.

The samples from hams of the low pH_{SM} group are closer to the isoelectric point of myosin, increasing intermolecular linkages between negatively and positively charged groups (Hamm, 1986), which, according to the Szczesniak (1963) definition, would explain the higher cohesiveness and springiness from hams with low pH_{SM} compared to the samples from hams with high pH_{SM}.

These results agree with those obtained by Guerrero et al. (1999),

who found at 45 days of processing higher cohesiveness in dry-cured hams with pH_{24h} < 5.8 than in those with pH_{24h} > 6.2. However, Tabilo et al. (1999) did not find any differences in cohesiveness and springiness between dry-cured hams with pH_{2h} > 5.8 and pH_{24h} < 6.0 and dry-cured hams with pH_{24h} > 6.0. Nevertheless, Breene (1975) expressed doubts as to the suitability of calling the ratio A_2/A_1 “cohesiveness”, since a material might exist that could be deformed irre-

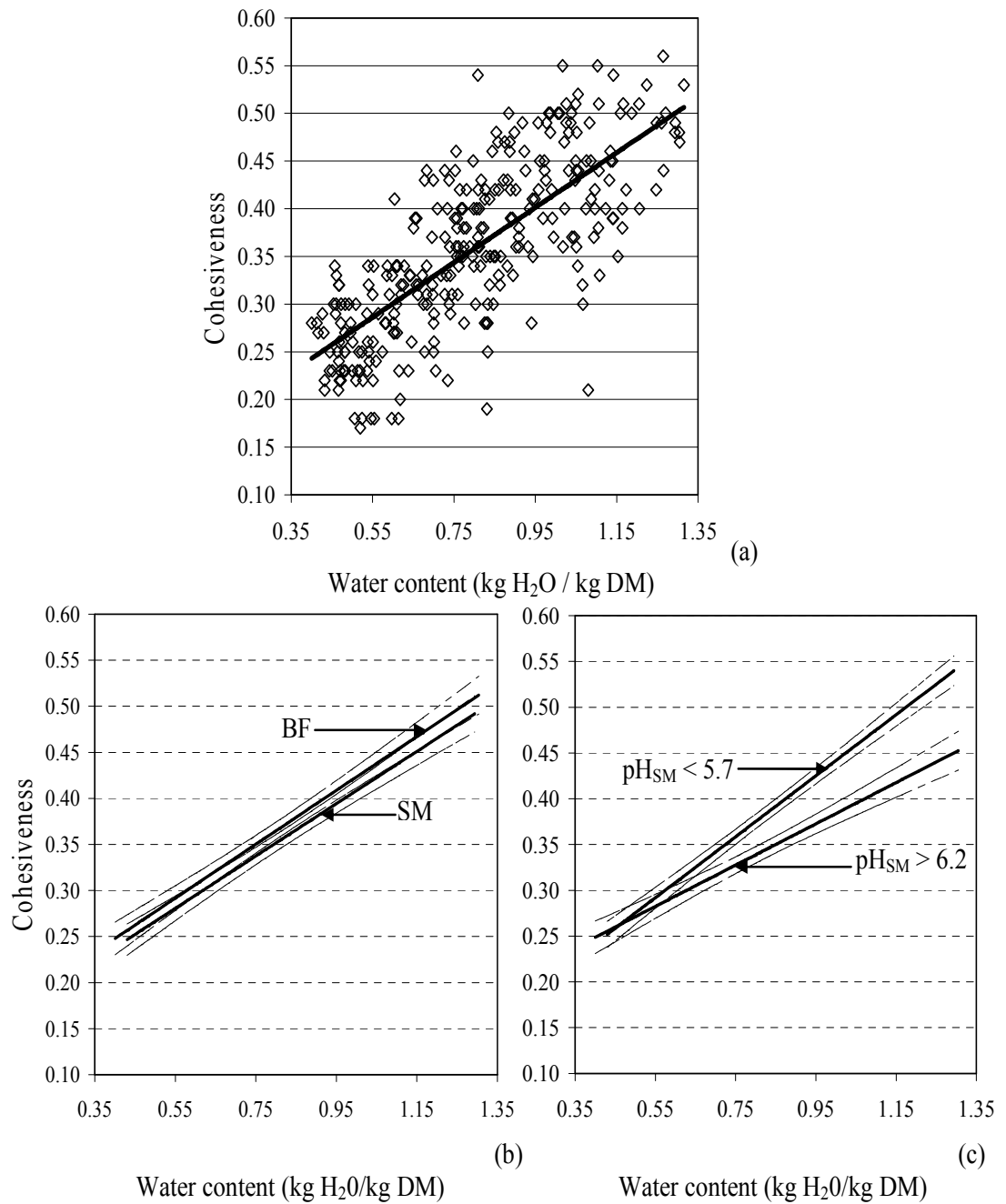


Figure 3. Experimental data and linear regression of cohesiveness versus water content (a), predicted cohesiveness and confidence intervals versus water content by muscle (b) and by pH_{SM} (c) in dry-cured muscles.

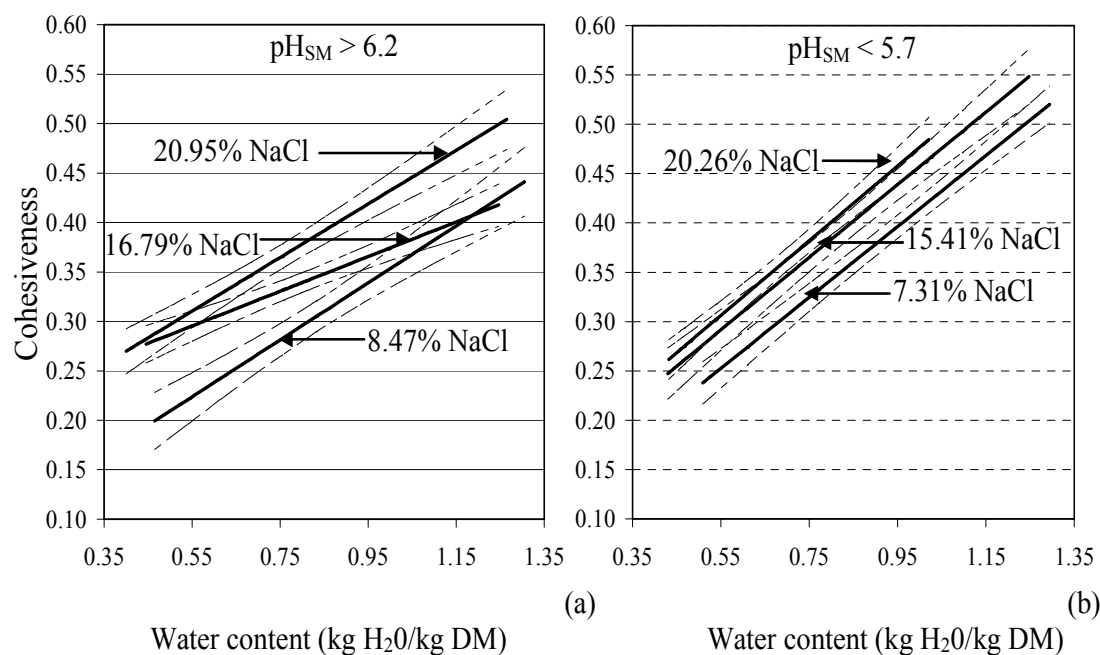


Figure 4. Predicted cohesiveness and confidence intervals versus water content by NaCl content in dry-cured muscles with $pH_{SM} > 6.2$ (a) and $pH_{SM} < 5.7$ (b).

versibly without any visible fracture. Such a material, like chewing gum and certain types of gels, would give a low A_2/A_1 value, despite being perfectly cohesive, in the sense that the internal bonds maintain the integrity of the product, avoiding fracture. A similar phenomenon might occur with the samples especially in high pH hams.

The muscles with the higher NaCl content presented higher cohesiveness and springiness (Figures 4(a), 4(b), 6(a) and 6(b)). However, this effect depends on the pH_{SM} . As the NaCl content diminished so does the

cohesiveness and springiness, especially in the case of high pH_{SM} .

The estimates of parameters, the residual standard deviation (RMSE) and the coefficient of determination (R^2) of the regression analysis for cohesiveness and springiness, by muscle, pH_{SM} and NaCl content are shown in Table 4. The greater R^2 were obtained with samples of hams from the low pH_{SM} group and with those from the 2% of NaCl content.

Conclusions

NaCl content group. The hardness, cohesiveness and springiness of SM

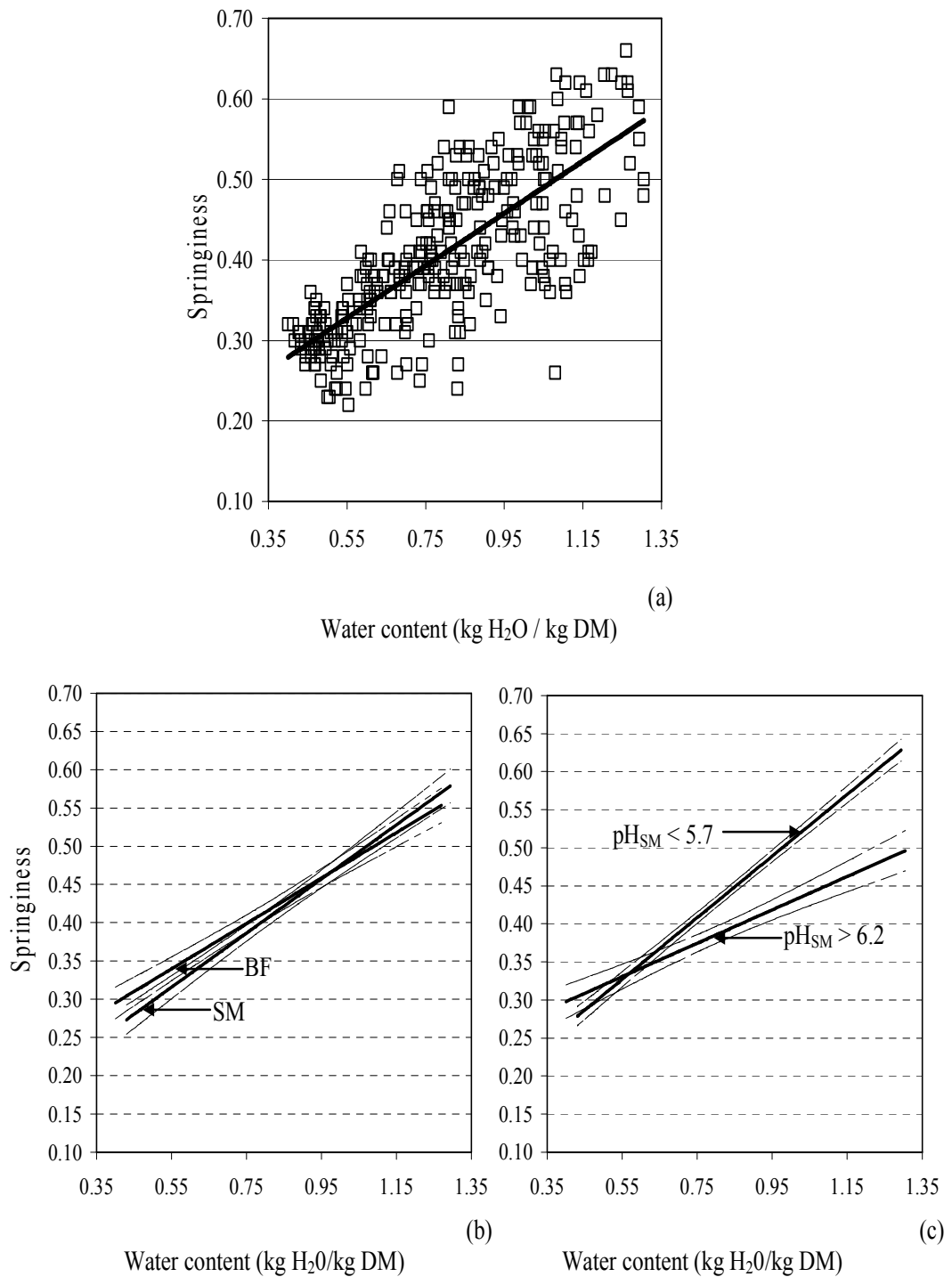


Figure 5. Experimental data and linear regression of springiness versus water content (a), predicted springiness and confidence intervals versus water content by muscle (b) and by pH_{SM} (c) in dry-cured muscles.

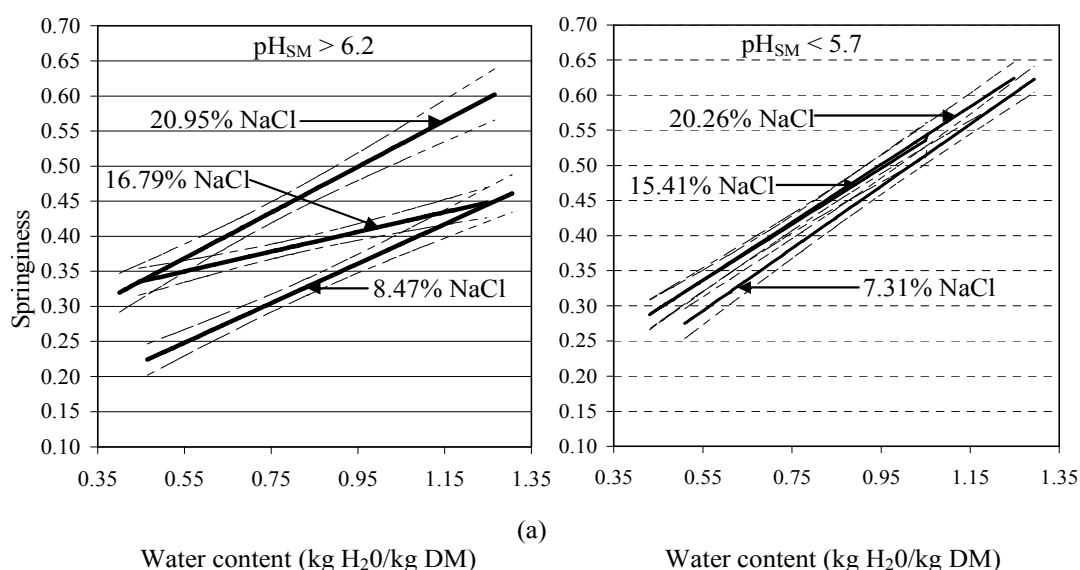


Figure 6. Predicted springiness and confidence intervals versus water content by NaCl content in dry-cured muscles with $pH_{SM} > 6.2$ (a) and $pH_{SM} < 5.7$ (b).

and BF muscles were affected by the pH_{SM} and NaCl content. Dry-cured muscles with lower NaCl contents show lower hardness, cohesiveness and springiness, especially in those with $pH_{SM} > 6.2$. At X values lower than 0.6 the hardness was more influenced by water content than by NaCl content or pH_{SM} . Further studies are needed to establish the effect of pH_{SM} on texture parameters at lower X values usually found in the surface of dry-cured ham.

Acknowledgements

We wish to acknowledge the Spanish Ministry of Science and

Technology for financing the Project AGL2003-04612 and, also, the National Funds of Science Technology and Innovation FONACIT of Venezuela (point of account: 2000-2000330) for co-financing Jorge Ruiz-Ramírez's doctorate studies at the Universitat Autònoma de Barcelona.

References

- Andrés, A., Cava, R., Ventanas, J., Thovar, V. & Ruiz, J. (2004). Sensory characteristics of Iberian ham: Influence of salt content and processing conditions. *Meat Science*, 68, 45-51.
- AOAC (1990). *Association of Official Analytical Chemist*. 15th Ed, Arlington, Virginia, pp 931-935.
- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la

Table 4

Estimates of parameters from the linear regression of cohesiveness and springiness ($a+b \cdot X$) on water content on dry matter basis (X)

		<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	RMSE
Cohesiveness					
General model		0.1279	0.2878	0.61	0.0584
By muscle*	BF	0.1244	0.2840	0.60	0.0579
	SM	0.1310	0.2923	0.62	0.0585
By pH _{SM}	pH _{SM} <5.7	0.1086	0.3332	0.75	0.0508
	pH _{SM} >6.2	0.1623	0.2214	0.46	0.0567
By NaCl content (pH _{SM} < 5.7)	2%	0.0548	0.3596	0.85	0.0431
	5%	0.0891	0.3680	0.76	0.0517
	8%	0.0980	0.3786	0.76	0.0417
By NaCl content (pH _{SM} > 6.2)	2%	0.0474	0.3041	0.64	0.0530
	5%	0.1990	0.1754	0.55	0.0365
	8%	0.1615	0.2708	0.65	0.0456
Springiness					
General model		0.1495	0.3246	0.60	0.0671
By muscle*	BF	0.1212	0.3538	0.65	0.0651
	SM	0.1765	0.2968	0.55	0.0683
By pH _{SM}	pH<5.7	0.1044	0.4050	0.85	0.0449
	pH>6.2	0.2192	0.2106	0.33	0.0706
By NaCl content (pH _{SM} < 5.7)	2%	0.0491	0.4435	0.90	0.0428
	5%	0.1109	0.4110	0.86	0.0425
	8%	0.1159	0.3999	0.77	0.0431
By NaCl content (pH _{SM} > 6.2)	2%	0.0848	0.2898	0.72	0.0429
	5%	0.2726	0.1408	0.43	0.0371
	8%	0.1892	0.3264	0.65	0.0550

a and *b* parameters of the model; R², coefficient of determination; RMSE, residual standard deviation.

*BF = *biceps femoris*; SM = *semimembranosus*.

calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinària, Barcelona, Spain.
 Arnau, J., Gou, J. & Comaposada, J. (2003). Effect of the relative humidity of drying air during the

resting period on the composition and appearance of dry-cured ham surface. *Meat Science*, 65, 1275–1280.

Arnau, J., Guerrero, L. & Gou, P. (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged

- for six months. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L., Maneja, E. & Gou, P. (1992). Effect of pH and genetics on texture characteristics of dry-cured ham. *38th ICoMST*, 229-232.
- Arnau, J., Guerrero, L. & Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 387-392.
- Berman, N. C. (1976). Automated system for sodium nitrite, sodium nitrate and sodium chloride in meat products. *7th Technicon International Congress*. December, New York.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62-66, 72.
- Breene, W. M. 1975. Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *Journal of texture Studies*, 6, 53-82.
- Candek-Potokar, M., Monin, G. & Zlender, B. (2002). Pork quality, processing and sensory characteristics of dry-cured hams as influenced by Duroc crossing and sex. *Journal of Animal Science*, 80, 988-996.
- Flores, J. (2001). El encostrado del Jamón Serrano: causas de formación y maneras de evitarlo. *Revista de la Asociación de Industrias de la Carne de España*. Octubre-Diciembre, 75, 5-10.
- Fox, J. B. (1980). Diffusion of chloride, nitrite and nitrate in beef and pork. *Journal Food Science*, 45, 1740-1744.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. & Luque de Castro, M. (1999). Sensory and analytical properties of Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Food Chemistry*, 67, 423-427.
- García-Rey, R., García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. & Luque de Castro, M. (2004). Relationship between pH before salting and dry-cured ham quality. *Meat Science*, 67, 625-632.
- Geesink, G. H. & Koohmaraie, M. (1999). Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by μ -calpain under *post-mortem* conditions. *Journal of Animal Science*, 77, 2685-2692.
- Geesink, G. H. & Koohmaraie, M. (2000). Ionic strength-induced inactivation of μ -calpain in *post-mortem* muscle. *Journal of Animal Science*, 78, 2336-2343.
- Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., Guàrdia, D. & Arnau, J. (2000). Efecto de la disminución del contenido en sodio del jamón curado sobre sus propiedades sensoriales y reológicas. *II Symposium Internacional del Jamón Curado*, Barcelona, 94-95.
- Guerrero, L., Gou, P. & Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and sensory textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.
- Hamm, R. 1960. Biochemistry of meat hydration. *Advances Food Research*, 10, 355-463.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In *Muscle as Food*. (Cap. 4, pp 135-199). Edited by Peter J. Bechtel. University of Illinois at Urbana, Illinois.
- Iseya, Z., Sugiura, S. & Saeki, H. (1998). Effect of curing with NaCl solution on drying characteristics of

- fish meat and its textural changes during drying. *Fisheries Science*, 64 (6) 969-972.
- ISO (1973). ISO-1443: Determination of total fat content. Geneva: International Organization for Standardization.
- Kerese, I. (1984). *Methods of protein analysis*. Chichester: Ellis Howood Ltd.
- Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43, S193-S201.
- Maddock, R. J., Bidner, B. S., Carr, S. N., McKeith, F. K., Berg, E. P. & Savell, J. W. (2002). Creatine monohydrate supplementation and the quality of fresh pork in normal and halothane carrier pigs. *Journal of Animal Science*, 80, 997-1004.
- Magraner, L., Sánchez, J., Gisbert, M. Sanjuán, R. & López N. (2003). Influence of raw matter on final quality of serrano ham. *II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- Monin, G., Virgili, R., Cornet, M., Gandemer, G. & Grasso, F. (1995). Composition chimique et caractéristiques physiques de 6 types de jambons d'Europe latine. *3rd International Symposium on Mediterranean Pigs*, Benevento-Italia.
- Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martin, J., Cornet, M., Lanore, D. & Grasso, F. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat Science*, 47, 29-47.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Gou, P. & Arnau, J. (2003). Efecto de la actividad de agua y contenido de agua sobre la textura del jamón curado. *Comunicación en: II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Gou, P. & Arnau, J. (2005). 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.
- Sárraga, C., Gil, M., Arnau, J., Monfort, J. & Cussó, R. (1989). Effect of curing salt and phosphate on the activity of porcine muscle proteases. *Meat Science*, 25, 241-247.
- SAS Institute. (1999). Statistical Analysis System Release 8.01. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J. & Gou, P. (2005). Texture parameters of dry-cured ham *m. biceps femoris* samples dried at different levels as a function of water activity and water content. *Meat Science*, 69, 249-254.
- Shomer, I., Weinberg, Z. G. & Vasiliver, R. (1987). Structural binding properties of silvercarp (*hypophthalmichthys molitrix*) muscle affected by NaCl and CaCl₂ treatments. *Food Microstructure*, 6, 199-207.
- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28, 385-389.
- Tabilo, G., Flores, M., Fiszman, S. M. & Toldrá, F. (1999). *Postmortem* meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Bordini, C. S. & Borri, M. (1995). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60, 1183-1186.
- Yu, L. P. & Lee, Y. B. (1986). Effects

of *postmortem* pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. *Journal of Food Science*, 51, 774-780.

CAPÍTULO

SÉPTIMO

**EFFECT OF pH₂₄, PROTEOLYSIS INDEX AND NaCl CONTENT ON THE
RELATIONSHIP BETWEEN WATER CONTENT AND TEXTURE PARAMETERS
IN *BICEPS FEMORIS* AND *SEMIMEMBRANOSUS* MUSCLES IN DRY-CURED
HAM.**

**EFEECTO DEL pH₂₄, ÍNDICE DE PROTEOLISIS Y DEL CONTENIDO DE
NaCl SOBRE LA RELACION ENTRE CONTENIDO DE AGUA Y LOS
PARÁMETROS DE TEXTURA EN MÚSCULOS *BICEPS FEMORIS* Y
SEMIMEMBRANOSUS DE JAMONES CURADOS.**

El contenido de este estudio ha sido aceptado para su publicación en Meat Science.

Effect of pH₂₄, NaCl content and proteolysis index on the relationship between water content and texture parameters in *biceps femoris* and *semimembranosus* muscles in dry-cured ham.

J. Ruiz-Ramírez, J. Arnau, X. Serra, P. Gou

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Unitat de Tecnologia i Enginyeria de Processos. Centre de Tecnologia de la Carn, Granja Camps i Armet s/n, 17121 Monells, Girona, Spain

ABSTRACT

The aim of the present study was to determine the effect of pH level and NaCl content on the relationship between water content and texture parameters in *semimembranosus* and *biceps femoris* muscles in dry-cured ham. The experiment was undertaken using 18 hams, selected in a commercial slaughterhouse. Half of the hams had a pH<5.7 and the rest a pH>6.2, measured in the *semimembranosus* muscle at 24-h *post mortem* (pH_{SM24}). The hams were treated 20, 50 or 80 g of NaCl per kg of ham. At the end of the aging process nine samples from *semimembranosus* and *biceps femoris* muscles were dried to different levels of water content covering the range from 22.4 to 58.5%. At the end of the drying period, a Texture Profile Analysis was used to determine textural parameters. Samples from *biceps femoris* muscle and samples from hams with low pH_{SM24} showed a higher proteolysis index (100×non-protein nitrogen/total nitrogen) than samples from *semimembranosus* muscle and samples from hams with high pH_{SM24} respectively. The proteolysis index decreased when the added NaCl amount increased. The proteolysis index was the parameter that best explained the modifications in the relationship between water content and the texture parameters (hardness, cohesiveness and springiness) of dry-cured ham muscles and it would be considered in order to predict the texture in dry-cured ham at different drying levels. Dry-cured hams with a lower proteolysis index were more prone to present harder texture at low water contents, which is typical of hams with crustiness problems.

Keywords: hardness, water content, pH, NaCl content, proteolysis index, dry-cured ham.

1. Introduction

Texture is an important quality criterion for the certification of the Traditional Spanish dry-cured ham “Jamón Serrano” as a Guaranteed Traditional Speciality (Fundación del Jamón Serrano, 1998). The most important texture problems described in dry-cured ham are crust formation (Arnau, 1998; García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador & Luque de Castro 1999; Flores, 2001), excessive softness (Parolari, Virgili & Schivazappa, 1994; Virgili, Parolari, Schivazappa, Bordini & Borri, 1995) and pastiness (Arnau 1991; Arnau, Guerrero & Sárraga, 1998; García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador & Luque de Castro, 2000; García-Rey, García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador & Luque de Castro, 2004).

The crust development in dry-cured ham has been related to a dramatic increase of hardness during drying because the water content at the surface of the product reaches a critical value (Serra, Ruiz-Ramírez, Arnau & Gou, 2005). This critical value has been reported to be different in dry-cured loin (Ruiz-Ramírez, Serra, Arnau & Gou, 2005a),

suggesting that intrinsic characteristics of the muscle and/or of the process could also affect the crust development.

Ruiz-Ramírez, Arnau, Serra and Gou (2005b) found slight effects of the fresh ham pH (measured on m. *semimembranosus* at 24 h post mortem, pH_{SM24}) and of the amount of added NaCl on the relationship between texture parameters and water content. This study was carried out with samples from *semimembranosus* and *biceps femoris* muscles, cured at 2 ± 2 °C for 45 days with NaCl amounts that ranged from 20 to 80 g of NaCl per kg of muscle, and subsequently dried at 3 ± 2 °C. Under these conditions, a low proteolytic index was found. However, during the traditional drying process of the ham, NaCl contents are lower (especially in the *biceps femoris* muscle at the initial stages) and the temperatures are higher than the reported values in Ruiz-Ramírez et al. (2005b) study. Consequently, a higher proteolytic activity is expected (Sárraga, Gil, Arnau, Monfort & Cussó, 1989; Toldrá, Rico, & Flores, 1993), which has been related to higher pastiness and excessive softness

(Arnau, 1991; Parolari et al., 1994; Virgili et al., 1995; Toldrá & Flores, 2000; García-Garrido, et al., 2000) and which could also affect the relationship between water content and texture parameters (Ruiz-Ramírez et al., 2005b).

The proteolytic activity in meat products depends, among other factors, not only on NaCl content and temperature, but also on pH (Arnau, Guerrero, Maneja & Gou, 1992; Arnau, Gou & Guerrero, 1994; Arnau et al., 1998; Schivazappa et al., 2002), which affects the proteolytic activity during the process and the final texture of the dry-cured ham (Arnau et al., 1998).

Several published studies show the effect of NaCl, temperature and pH on the final texture of dry-cured hams, however none of them studied the effect of these parameters on the relationship between water content and texture. The knowledge of this relationship is important in order to better determine the target weight loss to obtain the desired texture.

The aim of this study was to determine the effect of pH level and NaCl content on the relationship

between water content and texture parameters in two muscles from dry-cured ham.

2. Materials and methods

A complete 2-way factorial design was applied to obtain different pH levels and NaCl contents in dry-cured ham muscles at the end of the process. The factors were the pH measured on *M. semimembranosus* (SM) at 24-h post mortem ($\text{pH}_{\text{SM}24}$) and the amount of NaCl added during the salting process.

2.1 Hams selection

Two groups of 9 green hams each with an average weight of 11 ± 2 kg were selected by pH_{SM} , measured with a combined electrode (Ingold 406, Ingold, Urdorf, Switzerland) attached to a portable pH-meter (Crison 507, Crison Instruments S. A, Barcelona, Spain). The $\text{pH}_{\text{SM}24}$ was lower than 5.7 for the low $\text{pH}_{\text{SM}24}$ group and higher than 6.2 for the high $\text{pH}_{\text{SM}24}$ group.

2.2 Dry-cured ham process

The hams were manually rubbed with a mixture (g/kg of raw ham): 0.5 of KNO_3 , 0.3 g of NaNO_2 and, depending on the salting treatment, with 20, 50 or 80 g of NaCl. Three hams from each $\text{pH}_{\text{SM}24}$ group were

assigned to each salting treatment. After covering the lean part of the pieces with the salt, hams were individually vacuum packed in polyamide and polyethylene bags (SACOLIVA® permeability: 2.6 g H₂O/m²/day at 23 °C/85%RH) and were placed horizontally in trays at 2±2 °C for 33 days (salting period). Every five days hams were rubbed with the non-absorbed salt and packed again.

After salting, hams were washed with cold water and hung in a drying room at 2 ±2 °C and 78 ±2% RH, and at a constant air velocity of 0.09 m/s. A week later the RH was decreased to 70-75%, and kept constant for 2 months (resting period). Afterwards, during the ageing period, the relative humidity was gradually decreased and the temperature gradually increased (Table 1). Ham weight losses were monitored.

2.3 Sampling

The SM and *biceps femoris* (BF) muscles were excised from the dry-cured hams (Figure 1). Thereafter nine samples from each muscle (18 hams × 2 muscles × 9 samples = 324 samples) were shaped into a parallelepiped

(40×20×20 mm). The rest of the muscle was ground and vacuum packed in metallic bags (SACOLIVA® permeability: < 1 mg H₂O/m²/day, to 23 °C/85% HR), and stored at 2±2 °C for further physicochemical analysis.

Table 1. Parameters of process stages

Stage	t (days)	T (°C)	Relative Humidity (%)
Salting	33	2±2	-
Resting period	61	2±2	78.0±2.0
Ageing period 1	13	10±2	67.5±2.5
Ageing period 2	110	15±2	57.5±2.5
Ageing period 3	72	28±2	65.0±5.0

t = time; T = temperature

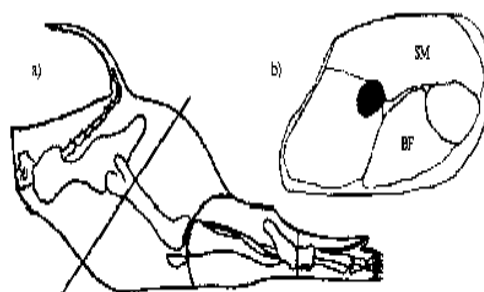


Figure 1. Schematic presentation of ham cross section. BF: *biceps femoris* muscle, SM: *semimembranosus* muscle.

2.4 Sample conditioning

Each parallelepiped was weighed and dried in a drying tunnel at 3±2 °C, 57.5±2.5% RH and 1 m/s air speed,

until the drying levels covering the water content range from 22.4 to 58.5% were reached. The dried samples were individually packed in polyamide and polyethylene bags (SACOLIVA®) with $99.8 \pm 0.1\%$ N₂ and $0.1 \pm 0.1\%$ O₂ atmosphere and kept at 2 ± 2 °C for a minimum of 60 days to improve the equalization of water and NaCl contents throughout the sample.

2.5 Texture analysis

A Texture Analyser (Universal MTS Alliance model. RT/5, SEM, Barcelona, Spain) was used to carry out a Texture Profile Analysis (TPA) (Bourne, 1978). Nitrogen-packed samples were kept for one hour at room temperature before carrying out texture analyses. The cores of the dry-cured samples were accurately carved with a scalpel into 10×10×10 mm cubes and triplicates were obtained. The samples were compressed twice to 50% of their original height (time=0 seconds between the two compression cycles). Force-time curves were recorded at a crosshead speed of 1 mm/s. The following parameters were calculated: hardness (*kg*), springiness (dimensionless) and cohesiveness (di-

mensionless). Hardness was defined as ‘the maximum peak force during the first compression cycle’; cohesiveness as the ‘ratio between the positive force area during the second compression cycle and that during the first compression cycle, excluding the areas under the decompression portion in each cycle’ and springiness as ‘the height that the food recovers during the time that elapses between the end of the first bite and the start of the second bite’ (Bourne, 1978).

2.6 Physicochemical analysis

The cubic samples used for TPA analysis were immediately cut up and water content was determined by drying at 103 ± 2 °C until reaching a constant weight (AOAC, 1990). Water content (*X*) was expressed on a dry matter (DM) basis ($\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg DM}$).

The remaining sample of each muscle was ground and used for physico-chemical analyses. NaCl content was determined with a chloride analyser TechniconTM (Berman, 1976); total nitrogen (TN) by Kjeldahl method; fat content by ISO-1443 (1973) method and non-protein nitrogen con-

tent (NPN) by precipitation of proteins with trichloroacetic acid (Kerese, 1984) followed by determination of the nitrogen in the extract with the Kjeldahl method. NaCl was expressed as a percentage on a dry matter basis, protein content (TN x 6.25) and fat content on a desalted dry matter basis (DM-NaCl). A proteolysis index (PI) was determined as a percentage of the ratio between NPN and TN (Careri, Mangia, Barbieri, Bolzoni, Virgili & Parolari, 1993; Schivazappa et al., 2002). The water content on a desalted dry matter basis (X_d , kg H₂O / (kg DM – kg NaCl) was also calculated.

2.7 Statistical analysis

Statistical analyses were carried out with the SAS statistical package (SAS Institute, 1999). Physicochemical data were analysed using the General Linear Model (GLM) procedure. The model included the initial pH_{SM24} group, the added NaCl level and the muscle as main effects and their interactions. The Duncan multiple range test was used to detect differences among means.

Relationships between water content (X) and cohesiveness or springiness were fitted with the REG proce-

dure of SAS to a linear model (Equation 1).

$$Y_i = a + b \cdot X_i + e_i \quad (1)$$

The relationship between X and hardness was fitted with the NLIN procedure of SAS to an asymptotic non-linear regression model (Equation 2).

$$Y_i = a \cdot e^{b \cdot X_i} + e_i \quad (2)$$

Where,

Y_i is the i^{th} sample observation of the dependent variables.

a , b are the model parameters.

X_i is the i^{th} observation of the independent variable.

e_i is the error.

Fat content, PI and Fat×PI were added as new covariables to Equation 1 and to the linearized Equation 2. Final models, considering the fat content and PI effects, were obtained after the Stepwise option (REG procedure, SAS) dropped the non-significative covariables from the complete models.

3. Results and discussion

3.1 Physicochemical composition at the end of the dry-cured ham process

The interactions pH×muscle and

pH $\times$ (added NaCl level) were not statistically significant for any physicochemical parameters and, consequently, they were dropped from the model.

Table 2 shows the means and standard deviations of physicochemical parameters by pH_{SM24} group, added NaCl level and muscle at the end of the process. Table 3 shows the significant interactions between muscle and added NaCl level.

The final weight loss for the dry-cured hams was $33\pm4\%$. Although weight losses were similar in hams from different added NaCl levels, X values increased when added NaCl level decreased. However, no differences were detected when water content was expressed on a desalted dry matter basis (X_d), which suggests that the differences in X values are mainly due to the additive effect of NaCl on the X calculation.

The fat content was lower in SM than in BF muscle, in agreement with previous studies (Candek-Potokar, Monin & Zlender, 2002; Maddock, Bidner, Carr, McKeith, Berg & Savell, 2002; Ruiz-Ramírez, et al., 2005b) and, as a consequence, the protein

content was higher in SM than in BF. No differences in fat content were found between pH_{SM24} groups nor between added NaCl levels.

As was expected, the NaCl content increased when added NaCl levels increased. However, the interaction (added NaCl level) $\times$ muscle (Table 3) shows that the NaCl content differences were higher in BF than in SM muscle. The NaCl content was not proportional to the added NaCl because the higher the added NaCl amount the more time was needed for it to be absorbed.

The NaCl content at the end of the process was higher in BF muscle than in SM muscle, in agreement with its higher water content; similar results were reported by Arnau, Guerrero, Casademont and Gou (1995) and Monin, Marinova, Talmant, Martin, Cornet, Lanore and Grasso (1997). Regardless of the added NaCl level, the absorption of NaCl during the salting process occurs mainly on the lean surface and, consequently, during the initial stage of the drying process, the NaCl content is higher in the SM than in the BF muscle (Barat, Grau, Ibañez & Fito, 2005). Moreover at this

stage the ham has a high moisture content in the BF muscle (Arnau et al., 1995). These facts could explain the higher proteolysis index found in BF muscle, which agrees with the results of García-Garrido et al. (2000). Nevertheless, the effect of the added NaCl level on proteolysis was small.

With respect to the pH_{SM24} effect on the proteolysis index, our results agree with those of Arnau et al. (1998) who reported lower NPN and lower cathepsin B and B+L activities in dry-cured hams with $pH_{SM24} > 6.2$.

The proteolysis indexes found in our study were similar to those obtained by Flores, Bermell and Nieto (1985) and Buscailhon, Monin, Cornet and Bousset (1994).

3.2 Muscle, pH_{SM24} and NaCl content effects on the relationship between X and texture parameters

Figure 2 shows the relationships between X and texture parameters by muscle. Hardness increased while cohesiveness and springiness decrea-

sed when X decreased. Hardness was greater in SM than in BF muscle at low X values, but they were similar at X values over 0.9 kg H₂O/kg DM. Similar results on dry-cured ham are reported by Virgili et al. (1995). Serra et al. (2005) found a dramatic increase of hardness with decreasing X values in BF muscle of dry-cured ham. A similar behaviour is shown in Figure 2 for SM muscle, but the X values for BF samples were not low enough to show the same behaviour for BF. However, hardness values of BF samples were similar to those reported by Serra et al. (2005) in the X range from 0.45 to 1.30 kg H₂O/kg DM. These X values could be achieved on the surface layer of SM (Arnau, Gou & Comaposada, 2003) and in *gracilis* muscles (Arnau et al., 1995) at the end of the dry-cured ham process.

Cohesiveness and springiness tended to be higher in SM than in BF muscle at X values over 0.75 while the reverse was observed at X below 0.75 kg H₂O/kg DM.

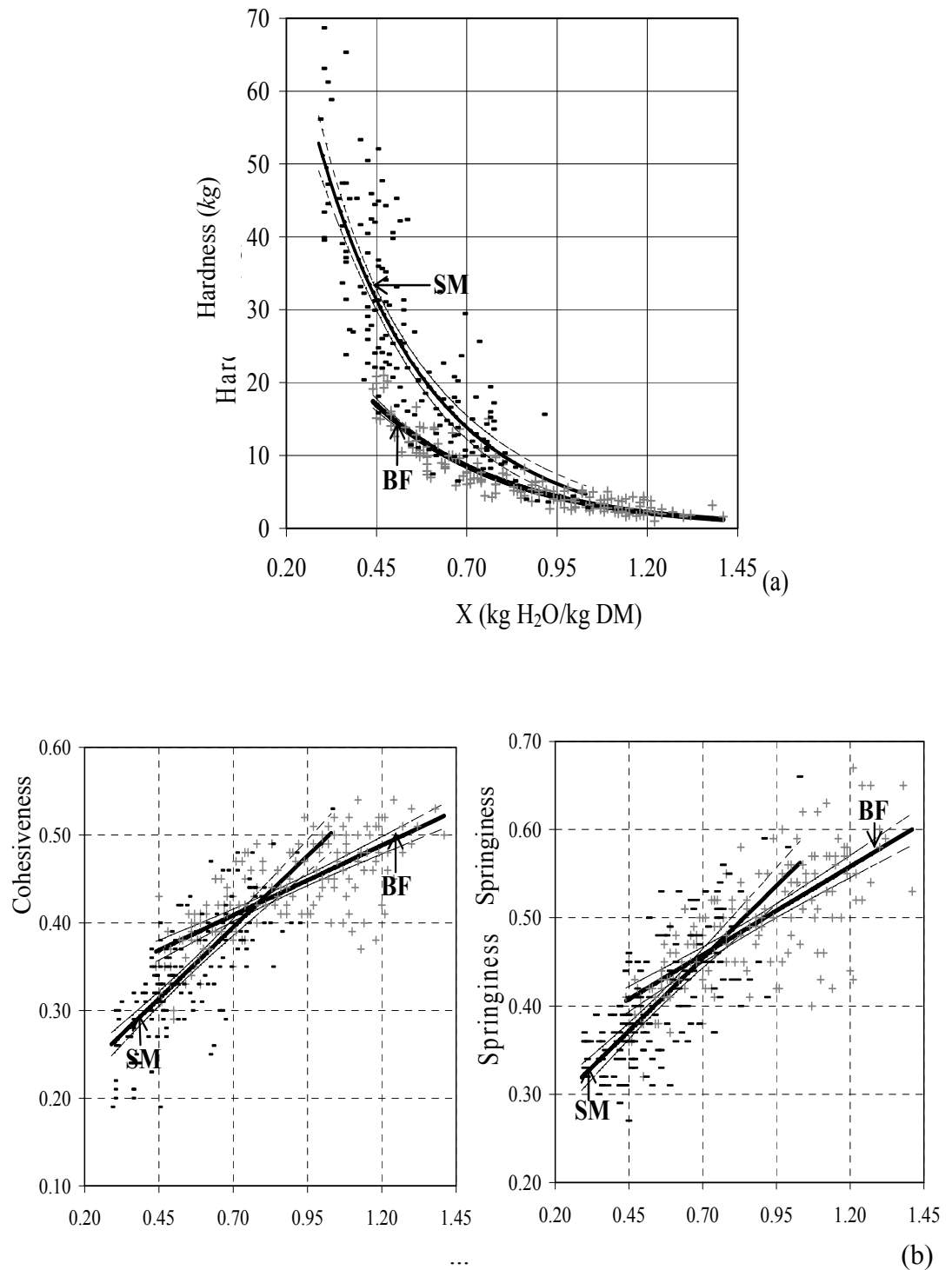


Figure 2. Hardness, cohesiveness and springiness versus water content (X) of *biceps femoris* (BF) and *semimembranosus* (SM) muscles in dry-cured hams. Experimental points: (-) SM, (+) BF, confidence intervals (---), predicted hardness ($Y = a \cdot e^{b \cdot X_i + e_i}$) (a) and predicted cohesiveness and springiness ($Y = a + bX$) (b).

Figure 3 shows the relationship between X and texture parameters by pH_{SM24} group within each muscle. There were no significant differences between pH_{SM24} groups. However, hardness tended to be lower in the samples from SM muscles with $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5.7$ than in those from SM muscles with $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6.2$. This could be because proteolytic activity of the cathepsin enzymes is maintained throughout the process (Parreño, Cussó, Gil & Sárraga, 1994; Sárraga, Gil, & García-Regueiro, 1993; Toldrá & Etherington, 1988) and is favoured at low pH.

The cohesiveness and springiness tended to be higher in the samples from SM with $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5.7$ than in those samples from SM with $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6.2$ (especially at high X values). Similar results were obtained by Ruiz-Ramírez et al. (2005b) in dry-cured muscles after curing for 45 days and dried at different levels.

The high NaCl content of the SM muscle during the first stages and the low water content in the last stages are considered to be the main reasons for the lower proteolysis of SM in compa-

risson with BF. Therefore, the lower proteolysis index at higher pH would tend to produce hams with harder SM muscle (especially on the surface). This tendency agrees with the higher susceptibility of high pH hams to form external crust stated by Arnau (1993) and Arnau (2000).

Although there was a slight effect of added NaCl on proteolysis index, within SM or BF muscles there was no significant effect of added NaCl levels on the relationship between texture parameters (hardness, cohesiveness and springiness) and X (data not shown). These results agree with those obtained by Arnau, et al. (1997) and Arnau et al. (1998), who did not find any difference in sensorial hardness of hams with different NaCl contents (16.5% vs 19.5% DM and 18.9% vs 24.8% DM).

3.3 Fat content and PI effects on the relationship between X and texture parameters

The final models obtained with stepwise regression analysis were:

Hardness:

$$Y = a \cdot e^{b \cdot X + c \cdot \text{PI} + d \cdot \text{PI} \cdot X}$$

Table 2

Means ($\pm$ S.D) of physicochemical composition of *biceps femoris* and *semimembranosus* dry-cured hams at the end of the process

Components	pH _{SM24} group		Added NaCl level			Muscle		Added NaCl level* Muscle
	Low (<5.7)	High (> 6.2)	Low (2%)	Medium (5%)	High (8%)	BF	SM	
Xd	1.45 $\pm$ 0.51	1.44 $\pm$ 0.44	1.45 $\pm$ 0.56	1.45 $\pm$ 0.45	1.42 $\pm$ 0.43	1.89 $\pm$ 0.10 ^a	1.00 $\pm$ 0.16 ^b	NS
X	1.24 $\pm$ 0.40	1.24 $\pm$ 0.36	1.33 $\pm$ 0.48 ^a	1.22 $\pm$ 0.34 ^{a,b}	1.17 $\pm$ 0.30 ^b	1.58 $\pm$ 0.14 ^a	0.89 $\pm$ 0.14 ^b	**
100·TN·6.25 (DM-NaCl)	86.25 $\pm$ 3.80	85.90 $\pm$ 3.12	85.37 $\pm$ 3.86	85.84 $\pm$ 2.75	87.01 $\pm$ 3.67	84.01 $\pm$ 3.29 ^b	88.04 $\pm$ 2.28 ^a	NS
100·IMF (DM-NaCl)	12.32 $\pm$ 3.27	11.72 $\pm$ 3.98	12.36 $\pm$ 4.07	12.19 $\pm$ 3.09	11.50 $\pm$ 3.85	14.15 $\pm$ 3.83 ^a	9.89 $\pm$ 1.57 ^b	NS
100·NaCl (DM)	13.36 $\pm$ 5.30 ^a	12.65 $\pm$ 4.72 ^b	8.00 $\pm$ 2.64 ^c	14.58 $\pm$ 3.51 ^b	16.44 $\pm$ 4.01 ^a	16.11 $\pm$ 4.36 ^a	9.90 $\pm$ 3.34 ^b	*
100·(NPN/TN)	24.15 $\pm$ 4.20 ^a	19.56 $\pm$ 4.69 ^b	23.28 $\pm$ 6.01 ^a	21.37 $\pm$ 4.37 ^{a,b}	20.90 $\pm$ 4.39 ^b	25.44 $\pm$ 3.41 ^a	18.26 $\pm$ 3.44 ^b	NS

Means with different letters in the same row (within each variable) are significantly different ($P < 0.05$).

DM = Dry matter basis.

NaCl (DM) = Content NaCl on dry matter basis.

X = (kg H₂O/kg DM).Xd = (kg H₂O/kg DM·kg NaCl).NS = $P > 0.05$.** = $P < 0.01$.* = $P < 0.05$.

Table 3

NaCl and water content (X) (Means $\pm$ S.D) by added NaCl level and muscle interaction

Added NaCl level	Muscle	NaCl (%) ¹	X
2	<i>Biceps femoris</i>	10.41 $\pm$ 0.55 ^d	1.75 $\pm$ 0.09 ^a
	<i>Semimembranosus</i>	5.58 $\pm$ 1.02 ^e	0.89 $\pm$ 0.23 ^c
5	<i>Biceps femoris</i>	17.90 $\pm$ 0.50 ^b	1.54 $\pm$ 0.06 ^b
	<i>Semimembranosus</i>	11.26 $\pm$ 0.64 ^d	0.91 $\pm$ 0.09 ^c
8	<i>Biceps femoris</i>	20.04 $\pm$ 1.66 ^a	1.46 $\pm$ 0.04 ^b
	<i>Semimembranosus</i>	12.84 $\pm$ 1.24 ^c	0.89 $\pm$ 0.06 ^c

Means with different letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

¹ : on dry matter basis.

X : kg H₂O/kg dry matter.

Cohesiveness:

$$Y = a + b \cdot X + c \cdot PI + d \cdot PI \cdot X$$

Springiness: $Y = a + b \cdot X + c \cdot PI$

Ruiz-Carrascal, Ventanas, Cava, Andrés and García (2000) found a negative correlation between intramuscular fat content and sensorial hardness in Iberian ham, which could be due to the structural effect of fat on the separation of fibres and also to the fact that high levels of IMF could make NaCl and water diffusion more difficult. Consequently, lower NaCl / water ratios in the product are

obtained during the first stages of the process, which is related with a higher proteolysis.

However, in the present study the inclusion of fat content in the model did not improve the relationship between X and texture parameter significantly when PI was considered. This was, probably, because the fat content ranged only from 2.8 to 7.2%.

Figure 4 shows the estimated texture parameters in the range of experimental X . The estimated parameters, the residual standard deviation

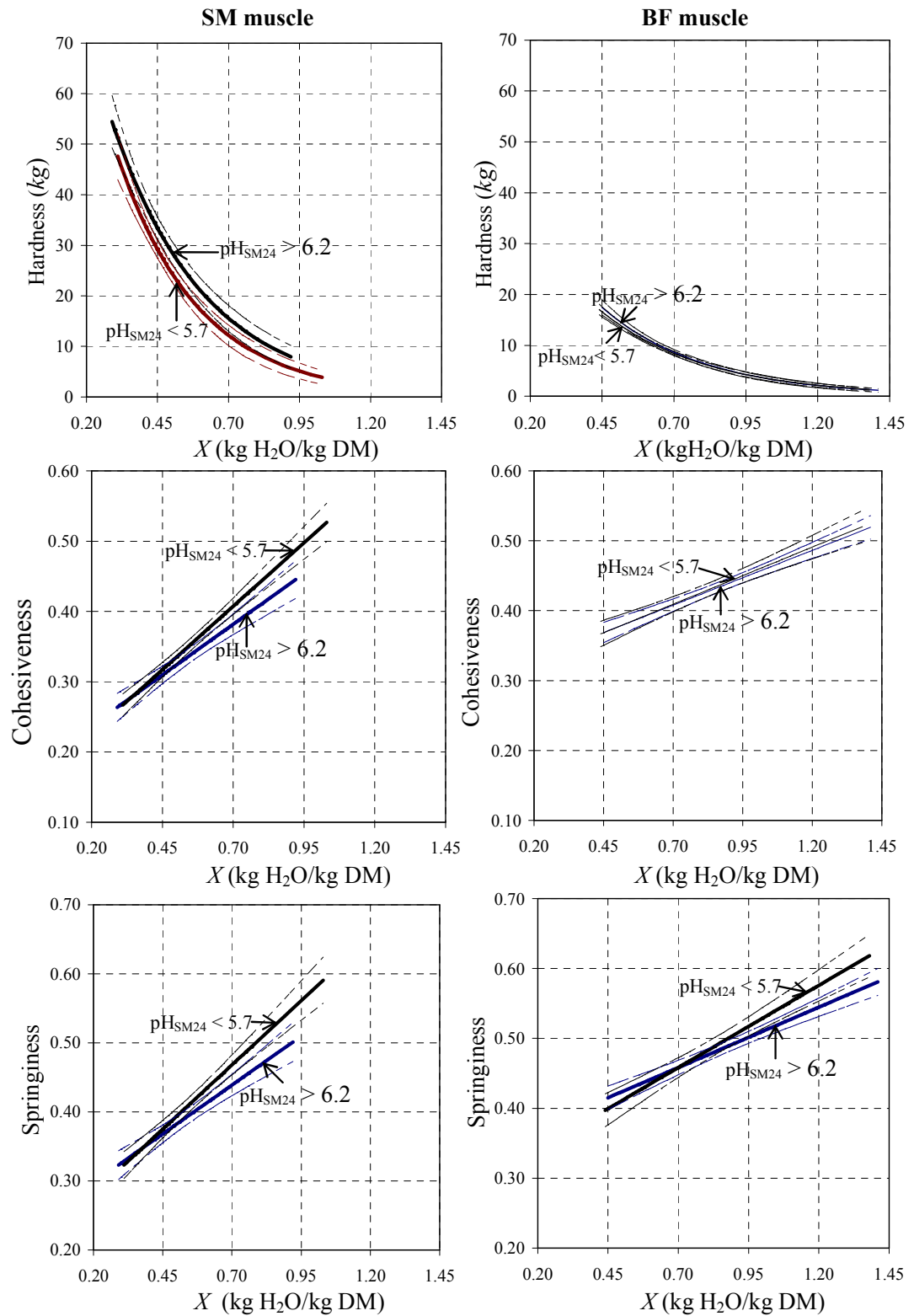


Figure 3. Predicted hardness, cohesiveness and springiness and confidence intervals versus water content by muscle according to NaCl content in dry-cured.

(RMSE) and the coefficient of determination (R^2) of the final models are shown in Table 4.

The hardness diminished when the PI increased. This result agrees with that obtained by Virgili et al. (1995), who found a negative correlation between proteolysis and hardness in dry-cured Parma ham.

A high PI on surface could be useful for the reduction of crust development. However, because of the low water content on the surface, it is expected that the superficial PI would be more affected by the activity of proteolytic microorganisms (Rodríguez, Núñez, Córdoba, Bermúdez, & Asensio, 1998) than the activity of muscular proteases. In order to have similar hardness, hams with a higher PI need lower water content (i.e. lower yield) than those with a lower PI. Both, cohesiveness and springiness decrease when the PI diminishes.

Regarding the proteolysis index, the differences in cohesiveness are important at low X values, at which the greatest differences in hardness are observed as well. Ruiz-Ramírez et al. (2005a) also found a high negative correlation between hardness and

cohesiveness and springiness, probably due in part to the fact that harder samples need more energy to achieve a compression of 50%. It is supposed that higher energy ruptured the interactions between proteins more intensively and consequently the cohesiveness from TPA is lower.

Figure 5 shows the fitting of the final model for hardness on the experimental data by four different sample groups according to their PI values the first group comprised the samples with PI values from 13.54% to 18.26% (average 15.51%); the second group, values from 18.66% to 21.31% (average 19.96%); the third group, values from 22.09% to 25.77% (average 23.70%); and the fourth group, values from 26.11% to 30.75% (average 28.44%).

Conclusions

The anatomic location of the muscle (internal or external), the pH_{SM24} and the amount of added NaCl effects the proteolysis index at the end of the dry-cured ham process. Samples with higher proteolysis show lower hardness and higher cohesiveness and springiness, especially at the lowest

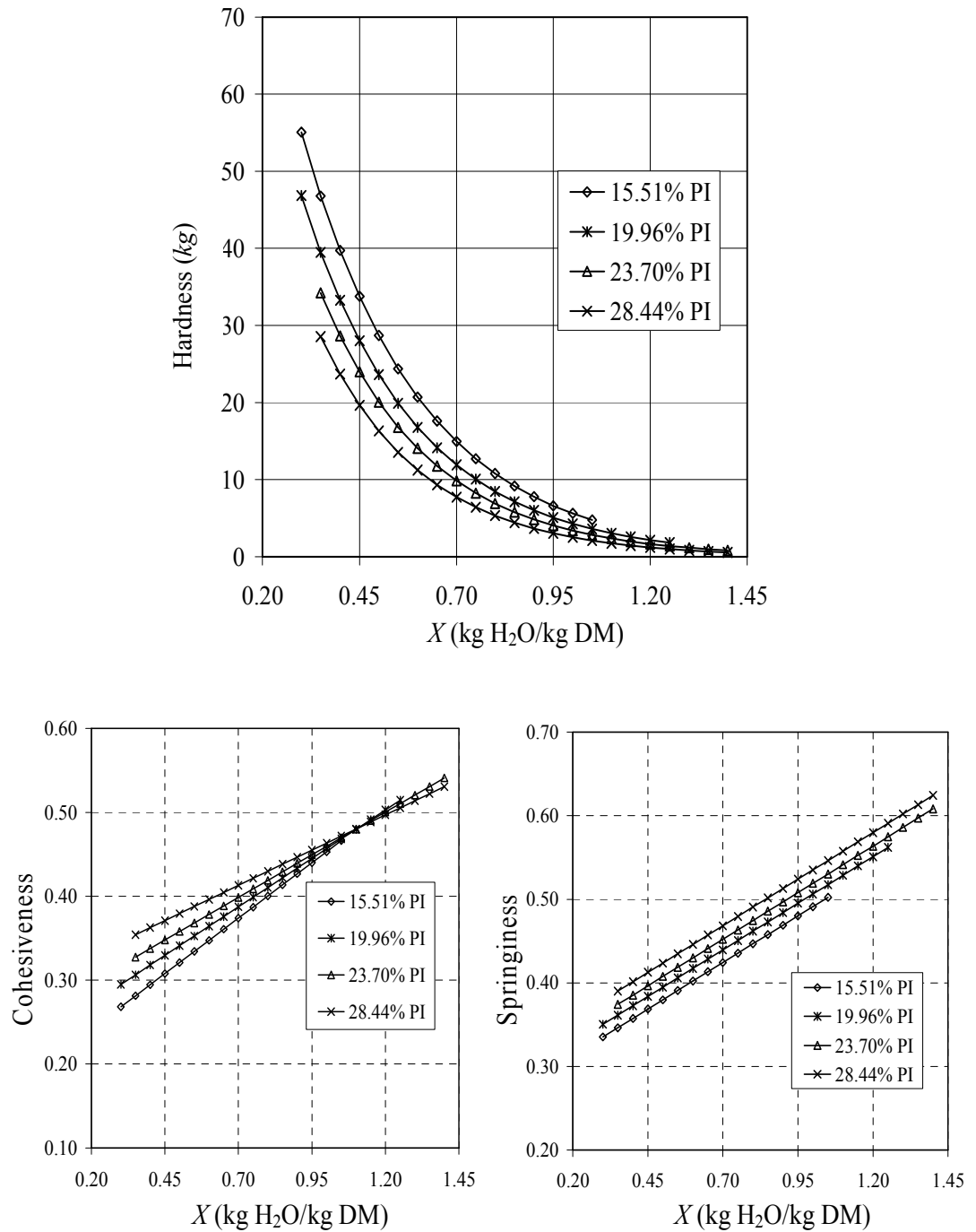


Figure 4. Predicted hardness, cohesiveness and springiness versus water content (X) according to the proteolysis index (PI) of dry-cured hams. Predictive models for hardness: $Y = a \cdot e^{b \cdot X + c \cdot PI + d \cdot PI \cdot X}$, cohesiveness: $Y = a_0 + b \cdot X + c \cdot PI + d \cdot (PI \cdot X)$ and springiness: $Y = a + b \cdot X + c \cdot PI$.

Table 4

Mathematical model $Y=a \cdot e^{(b \cdot X + c \cdot PI + d \cdot PI \cdot X)}$ for hardness, $Y=a+b \cdot X+c \cdot PI+d \cdot PI \cdot X$ for cohesiveness and $Y=a+b \cdot X+c \cdot PI$ for springiness

<i>Y</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R</i> ²	RMSE
Hardness (Kg)	217.4	-2.6963	-0.0255	-0.0363	0.84	5.82
Cohesiveness	0.06185	0.37671	0.00818	-0.00735	0.69	0.69
Springiness	0.21563	0.22292	0.0034	-	0.66	0.66

a, b, c and *d* parameters of the model; *R*², coefficient of determination; RMSE, residual standard deviation.

PI = Proteolysis index.

X = water content (kg H₂O/kg dry matter).

lowest water content, which is achieved at the surface of traditional dry-cured hams. Therefore, the dry-cured hams with lower proteolysis at the surface are more prone to present a harder surface (crust). For specific processing conditions a selection of raw material by pHSM24 could be useful to better define the added NaCl level necessary to obtain a target combination of PI and water content to get the desired texture.

Acknowledgements.

The authors wish to acknowledge the Spanish Ministry of Science and Technology for financing the Project AGL2003-04612 and, also, the Natio-

nal Funds of Science, Technology and Innovation FONACIT of Venezuela (point of account: 2000 2000330) for co-financing Jorge Ruiz-Ramírez's doctorate studies at the Universitat Autònoma de Barcelona.

References

- AOAC (1990). *Association of Official Analytical Chemist*. 15th Ed, Arlington, Virginia, pp 931-935.
- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinària, Barcelona, Spain.
- Arnau, J. (1993). Tecnología de elaboración del jamón curado. *Microbiología Sem*, 9, 3-9.
- Arnau, J. (1998). Principales problemas tecnológicos en la elabo-

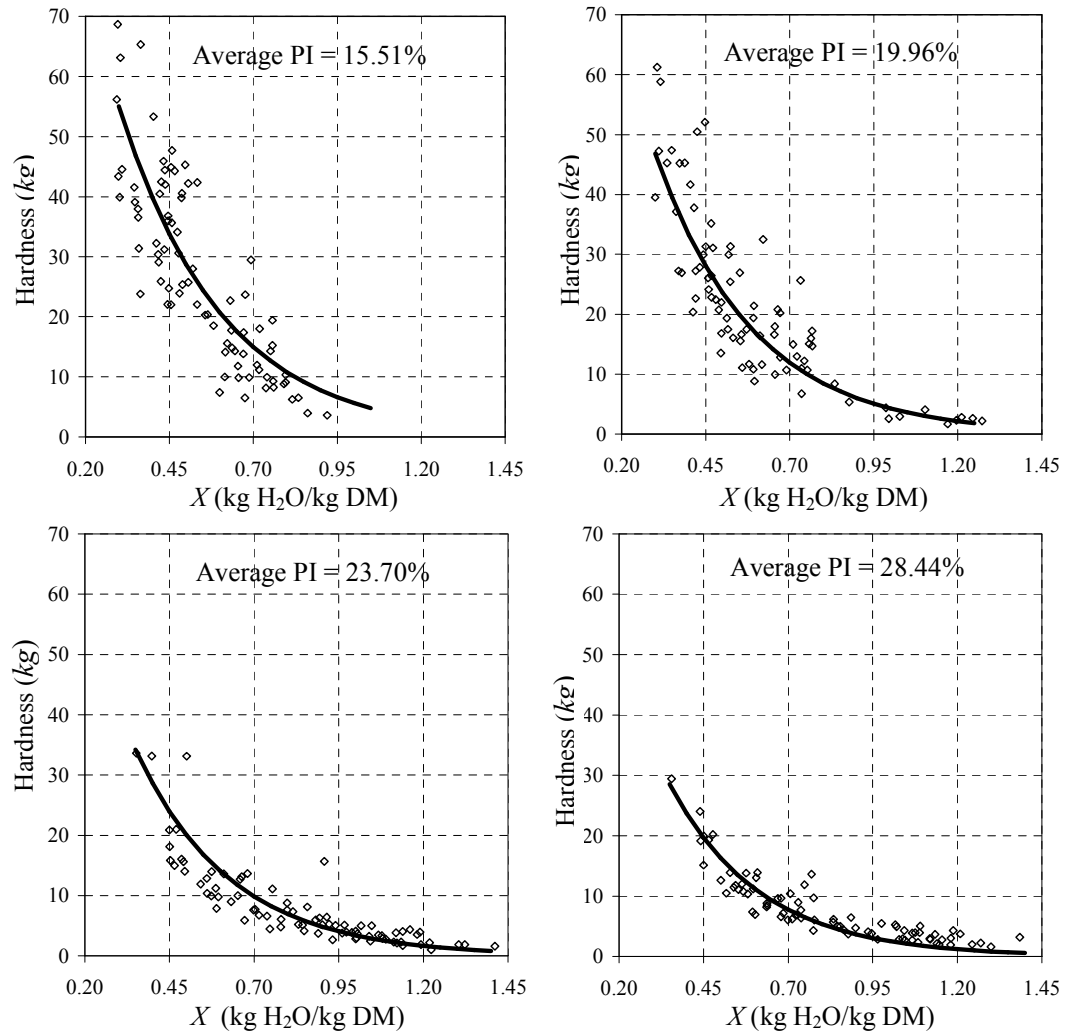


Figure 5. Experimental and predicted hardness versus water content (X) in dry cured hams by four different sample groups according to their PI values: from 13.54% to 18.26% (average 15.51%); from 18.66% to 21.31% (average 19.96%); from 22.09% to 25.77% (average 23.70%) and from 26.11% to 30.75% (average 28.44%). Predicted hardness: $Y = a \cdot e^{b \cdot X + c \cdot PI + d \cdot PI \cdot X}$, where PI is the average PI of each group.

ración del jamón curado. In *El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Simposio Especial 44th ICoMST* (pp. 71-86). Barcelona, Eurocarne.

Arnau, J. (2000). Aspectos tecnológicos que afectan al desarrollo de la textura y del flavor. *II Symposium Internacional del Jamón Curado*.

Barcelona, pp. 27-40.

Arnau, J., Gou, P. & Comaposada, J. (2003). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and appearance of dry-cured ham surface. *Meat Science*, 65, 1275-1280.

Arnau, J., Gou, P. & Guerrero, L. (1994). The effects of freezing,

- meat pH, and storage temperature on the formation of white film and tyrosine crystals in dry-cured hams. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66, 279-282.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, 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.
- Arnau, J., Guerrero, L. & Gou, P. (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged for six months. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L., Maneja, E. & Gou, P. (1992). Effect of pH and genetics on texture characteristics of dry cured ham. *38th ICoMST*, 229-232.
- Arnau, J., Guerrero, L. & Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 387-392.
- Barat, J., Grau, R. Ibañez, J. & Fito. (2005). Post-salting studies in Spanish cured ham manufacturing. Time reduction by using brine thawing-salting. *Meat Science*, 69, 201-208.
- Berman, N. C. (1976). Automated system for sodium nitrite, sodium nitrate and sodium chloride in meat products. *7th Technicon International Congress*. December, New York.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(7), 62-66, 72.
- Buscailhon, S., Monin, G., Cornet, M. & Bousset, J. (1994). Time-related changes in nitrogen fractions and free amino acids of lean tissue of French dry-cured ham. *Meat Science*, 37, 449-456.
- Candek-Potokar, M., Monin, G. & Zlender, B. (2002). Pork quality, processing and sensory characteristics of dry-cured hams as influenced by Duroc crossing and sex. *Journal of Animal Science*, 80, 988-996.
- Careri, M., Mangia, A., Barbieri, G., Bolzoni, L., Virgili, R. & Parolari, G. (1993). Sensory property relationships to chemical data of Italian-type dry-cured ham. *Journal of Food Science*, 58, 968-972.
- Fundación Jamón Serrano (1998). Pliego de condiciones para la elaboración del Jamón Serrano. Retrieved November 24, 2003, from Fundación Jamón Serrano Web site: <http://fundacionserrano.org/etg.asp>
- Flores, J. (2001). El encostrado del Jamón Serrano: causas de formación y maneras de evitarlo. *Revista de la Asociación de Industrias de la Carne de España. Octubre-Diciembre*, 75, 5-10.
- Flores, J., Bermell, S. & Nieto, P. (1985). Evaluación de la calidad de los productos cárnicos. III. Jamón curado. *Revista de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos*, 25, 400-407.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R. Tapiador, J. & Luque de Castro, M. (1999). Sensory and analytical properties of Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Food Chemistry*, 67, 423-427.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R. Tapiador, J. & Luque de Castro, M. (2000). Activity of cathepsin B, D,

- H and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56, 1-6.
- García-Rey, R., García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. & Luque de Castro, M. (2004). Relationship between pH before salting and dry-cured ham quality. *Meat Science*, 67, 625-632.
- Guerrero, L., Gou, P. & Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and sensory textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.
- ISO-1443 (1973). Determination of total fat content. Geneva: International Organization for Standardization.
- Kerese, I. (1984). *Methods of protein analysis*. Chichester: Ellis Horwood Ltd.
- Maddock, R. J., Bidner, B. S., Carr, S. N., McKeith, F. K., Berg, E. P. & Savell, J. W. (2002). Creatine monohydrate supplementation and the quality of fresh pork in normal and halothane carrier pigs. *Journal of Animal Science*, 80, 997-1004.
- Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martin, J., Cornet, M., Lanore, D. & Grasso, F. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat Science*, 47, 29-47.
- 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, 117-122.
- Parreño, M., Cussó, R., Gil, M. & Sárraga, C. (1994). Development of cathepsin B, L and H activities and cystatin-like activity during two different manufacturing process for Spanish dry-cured ham. *Food Chemistry*, 49, 15-21.
- Rodríguez, M. M., Núñez, F., Córdoba, J. J., Bermúdez, M. E. & Asensio, M. A. (1998). Evaluation of proteolytic activity of microorganisms isolated from dry-cured ham. *Journal of Applied Microbiology*, 85, 905-912.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A. & García, C. (2000). Texture and appearance of dry-cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, 33, 91-95.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Gou, P. & Arnau, J. (2005a). 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.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X. & Gou, P. (2005b). Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science*, in press.
- Sárraga, C., Gil, M., Arnau, J., Monfort, J. & Cussó, R. (1989). Effect of curing salt and phosphate on the activity of porcine muscle proteases. *Meat Science*, 25, 241-247.
- Sárraga, C., Gil, M. & García-Regueiro, J. A. (1993). Comparison of calpain and cathepsin (B, L and D) activities during dry-cured ham processing from heavy and light large white pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 71-75.
- SAS Institute (1999). Statistical Analysis System Release 8.01. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J. & Gou, P. (2005). Texture para-

- meters of *m. biceps femoris* from dry-cured hams as a function of water activity and water content. *Meat Science*, 69, 249-254.
- Schivazappa, C., Degni, M., Nanni Costa, L., Russo, V., Buttazzoni, L. & Virgili, R. (2002). Analysis of raw meat to predict proteolysis in Parma ham. *Meat Science*, 60, 77-83.
- Tabilo, G., Flores, M., Fiszman, S. M. & Toldrá, F. (1999). *Postmortem* meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Toldrá, F. & Etherington, D. (1988). Examination of cathepsins B, D, H and L activities in dry-cured hams. *Meat Science*, 23, 1-7.
- Toldrá, F., Rico, E. & Flores, J. (1993). Cathepsin B, D, H and L activities in the processing of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 157-161.
- Toldrá, F. & Flores, M. (2000). The use of muscle enzymes as predictors of pork meat quality. *Food Chemistry*, 69, 387-395.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Bordini, C. S. & Borri, M. (1995). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60, 1183-1186.

CAPÍTULO

OCTAVO

DISCUSIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS

1. Relación de la actividad de agua y del contenido de agua con los parámetros de textura

La dureza en los experimentos 1 y 2 (Capítulo IV y V) aumentó a medida que disminuyó el contenido de agua (X) y/o la actividad de agua (a_w). La variable X fue la que mejor correlacionó con los parámetros de textura (Tabla 10). Por ello en los experimentos 3 y 4 (Capítulos VI y VII) la variable a_w no fue considerada.

La Figura 12 muestra la relación no lineal de X con la dureza. Esta relación quedó demostrada en el experimento 1 realizado en jamón curado (Capítulo IV) y confirmada en los experimentos posteriores (Capítulos V-VII).

Las muestras más secas muestran mayor dureza. Esto puede ser debido, en parte, al hecho que durante el secado de los productos cárnicos, éstos sufren un encogimiento proporcional a la pérdida de agua (Potter, 1986), incrementando el contenido de materia seca de la muestra usada en el análisis de textura. Además, Randall y Braztler (1970) establecen que durante el secado de la carne se promueve el contacto entre proteínas y se producen

nuevas interacciones ayudando a incrementar la dureza. Stanley y Yada (1992) postulan que dentro de estas nuevas interacciones no covalentes que se forman, están las interacciones hidrófobas entre proteínas contráctiles musculares. Estas interacciones se forman como resultado de asociaciones del lado apolar de las cadenas peptídicas evitando el contacto con el agua. El número de grupos apolares, su grado de hidrofobicidad y su localización en la cadena, determinará la contribución de las interacciones hidrófobas a la dureza.

La dureza en jamón curado aumentó poco al disminuir X de 1,3 a 0,6 y a_w de 0,9 a 0,7; intervalo en el que existe una relación lineal. A valores de $X \leq 0,6$ y de $a_w < 0,70$, la dureza del jamón curado aumentó de forma importante, lo cual podría relacionarse con el fenómeno del encostrado que se observa en ocasiones en el exterior del jamón curado.

En la superficie, el agua se evapora y los solutos se depositan cuando el producto de las concentraciones de los iones disociados, elevados a los exponentes correspondientes, supera el valor del producto de solubilidad, como

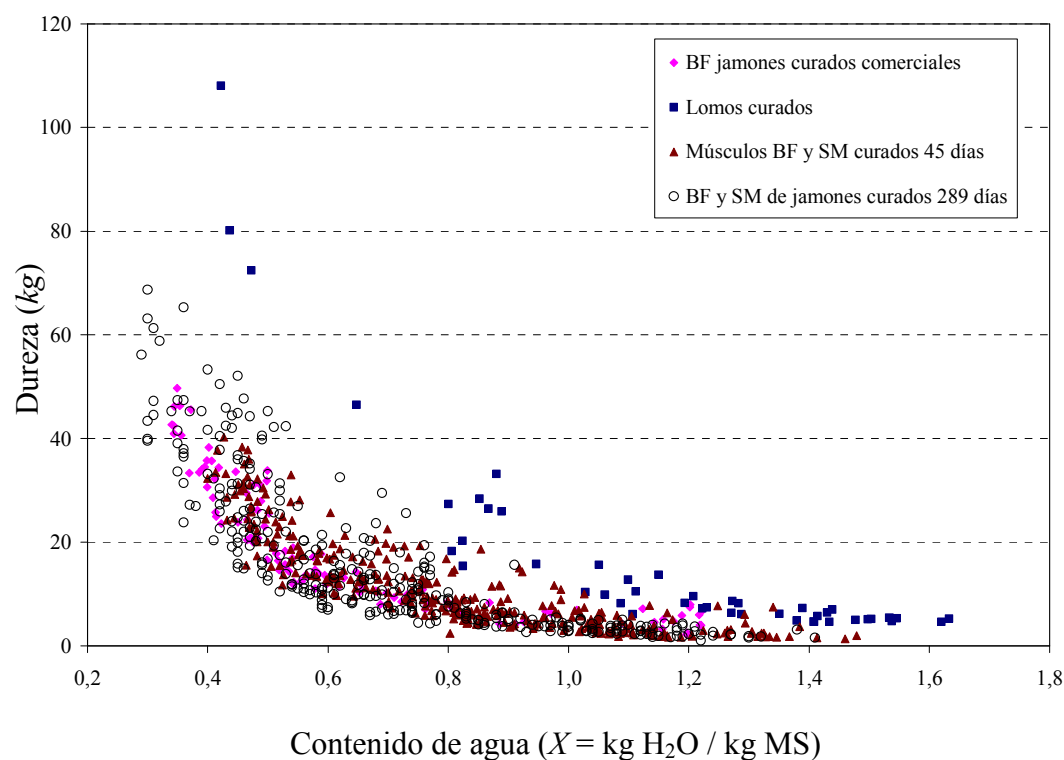


Figura 12. Relación entre X (kg agua/kg materia seca) y la variable dureza.

Tabla 10. Modelos matemáticos $Y=1/(a+bX+cX^2)$ para dureza y masticabilidad y $Y=a+bX$ para cohesividad en lomos curados

Y	Modelo con a_w					
	a	b	c	R^2	RMSE	P
Dureza (kg)	3,1551	-8,0942	5,1993	0,89	7,29	0,0001
Masticabilidad (kg)	26,581	-64,957	39,7691	0,78	2,13	0,0001
Cohesividad	0,3944	1,0044	-	0,33	0,04	0,0001
Y	Modelo con X					
	a	b	c	R^2	RMSE	P
Dureza (kg)	0,0062	-0,0283	0,0897	0,96	4,41	0,0001
Masticabilidad (kg)	-0,0888	-0,2819	0,0936	0,90	1,45	0,0001
Cohesividad	0,3806	0,1116	-	0,46	0,04	0,0001

a_w , actividad de agua; X , contenido de agua (X , kg de H_2O /kg de materia seca).

a , b y c = parámetros del modelo.

R^2 = coeficiente de determinación.

RMSE = desviación estándar residual.

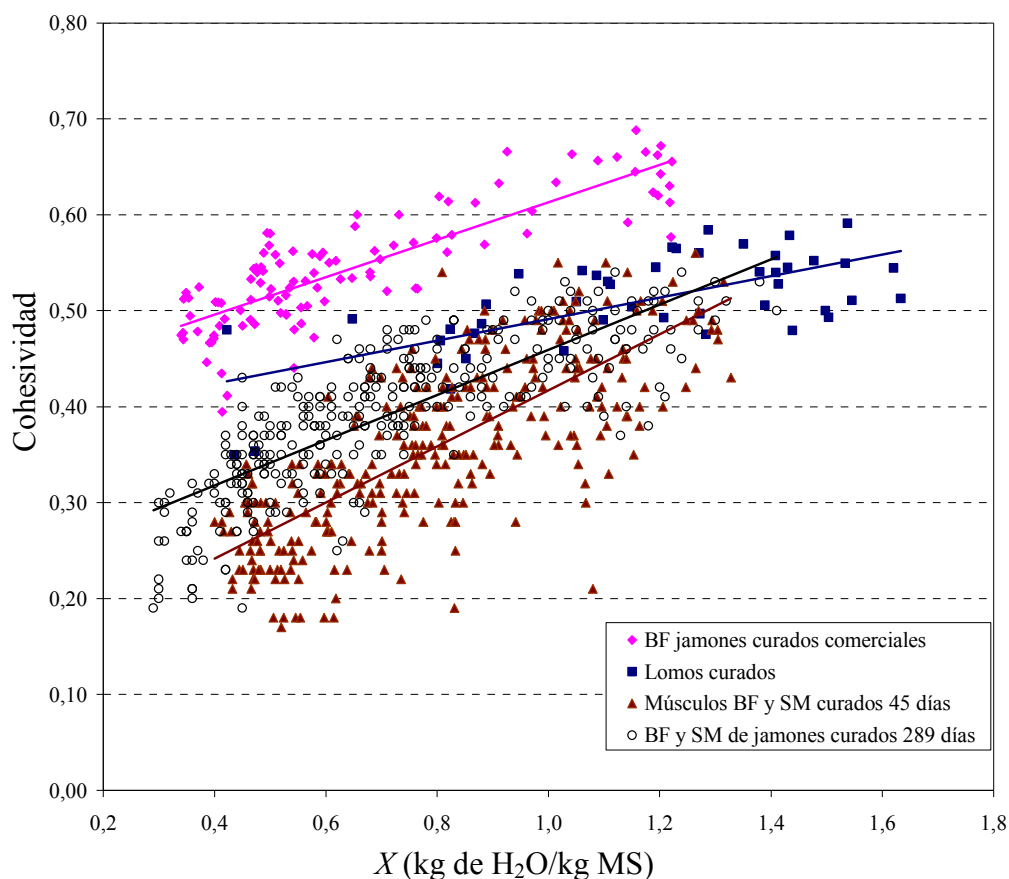


Figura 13. Relación entre X y la variable cohesividad.

por ejemplo el $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Arnau y col., 2003), o cuando la a_w es inferior a la de la solución saturada, como por ejemplo en el NaCl , que cristaliza a $a_w < 0,75$ (Lioutas y col., 1984).

Al cristalizarse el NaCl , por un lado se forma una fase sólida que puede constituir un obstáculo a la difusión del agua y, por otro, aumentan las interacciones proteína-proteína, lo cual hace disminuir la difusión efectiva del agua (Gou y col., 2004).

Este incremento sustancial de la dureza ocurrió a valores similares de X tanto en músculo curado como en jamón curado (Capítulo IV, VI y VII), pero a valores diferentes en lomo curado (Capítulo V). Esto podría deberse a que existe un efecto del tipo de músculo a valores de X donde ocurre el incremento sustancial de la dureza y por ende del encostrado, pero también al hecho de que los ensayos realizados en lomo se hicieron con muestras de 3 mm de espesor, mientras que los de

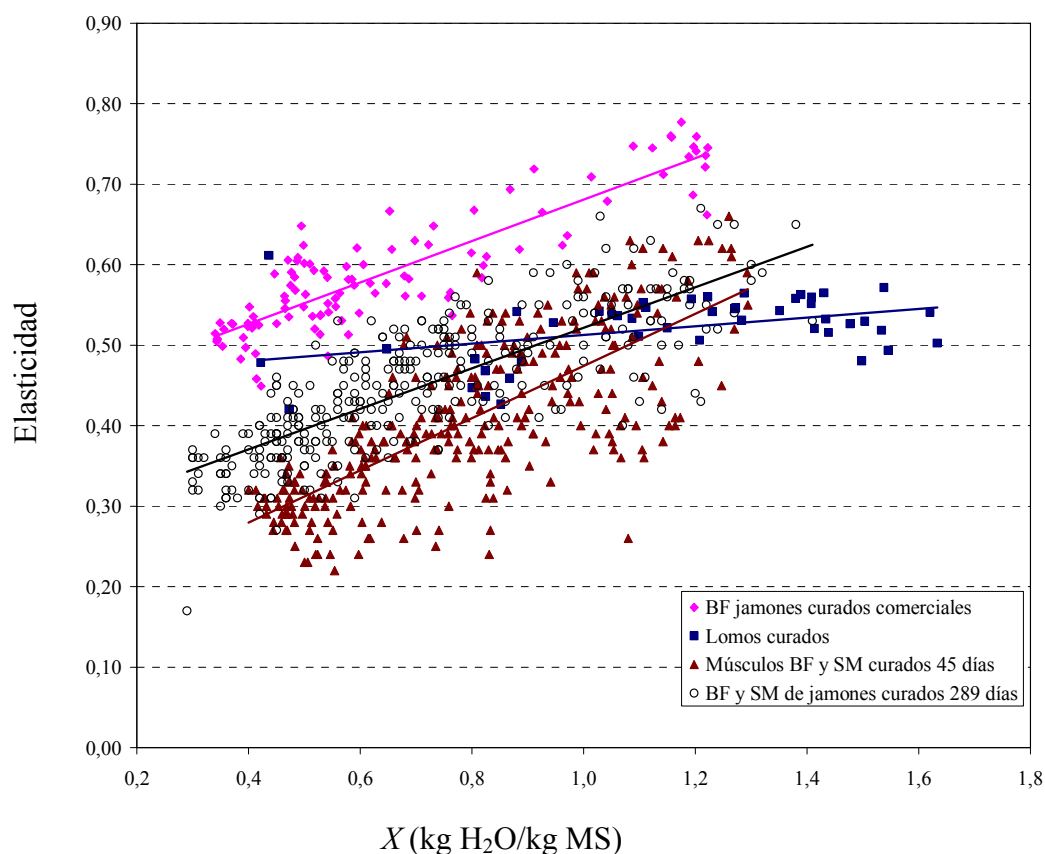


Figura 14. Relación entre X y la variable elasticidad.

músculo y jamón curado tenían 10 mm de espesor.

Las Figuras 13 y 14 muestran la relación lineal de X con la cohesividad y la elasticidad en los experimentos realizados.

A medida que X disminuía también lo hacía la cohesividad y la elasticidad en estos productos cárnicos. Las muestras de músculo *biceps femoris* de jamones madurados durante 12 meses, utilizadas en el Capítulo IV, muestran

los más altos valores de cohesividad y de elasticidad; seguidos por los lomos curados (Capítulo V) y después por los jamones de 289 días de curación (Capítulo VII), siendo los músculos curados durante 45 días (Capítulo VI) los que presentaron los valores más bajos de cohesividad y de elasticidad.

Las diferencias encontradas en cohesividad y elasticidad entre los productos pueden deberse entre otros factores al grado de proteolisis. Así

tenemos que los músculos curados presentaron valores más bajos de índice de proteolisis que los jamones curados madurados durante 289 días.

En los experimentos de los Capítulos IV y V no se determinó el índice de proteolisis. Sin embargo, la maduración de los jamones utilizados en el Capítulo IV fue de 12 meses, lo que hace suponer un mayor índice de proteolisis. Además, en estas muestras el TPA fue realizado a una velocidad de cruceta de 5 mm/s, a diferencia de los otros experimentos donde la velocidad de cruceta utilizada fue de 1 mm/s. A mayor velocidad de cruceta, menor es el tiempo en que la muestra se encuentra presionada y por tanto mayor es su recuperación, obteniendo valores más altos de cohesividad y de elasticidad.

Con respecto a los lomos curados (Capítulo V) las muestras fueron de 3 mm de grosor, mientras que los músculos y jamones curados tenían 10 mm de espesor.

Modelos matemáticos

Los resultados obtenidos en el Capítulo V sirvieron para desarrollar un modelo matemático empírico capaz de predecir la dureza en función de X .

La ecuación fue $Y = 1/a + b \cdot X + c \cdot X^2$.

Para las variables cohesividad y elasticidad se aplicó un modelo lineal $Y = a + bx$.

Conocer el valor de X en la superficie de jamón curado, lomo curado y músculo curado durante 45 días permitiría estimar su valor de dureza, cohesividad y elasticidad.

Los valores de X pueden obtenerse a partir de modelos difusivos (Gou y col., 2003) y/o métodos analíticos (Mishiro y col., 1995), que podrían aplicarse «on-line» y ser útiles para estimar y controlar estos parámetros de textura y evitar el encostrado. Los parámetros del proceso de secado pueden ser utilizados para mantener el valor de X en la superficie por encima del valor crítico de 0,6 para jamón curado (Capítulo IV) y de 0,8 para lomo curado (Capítulo V).

Una vez determinada la relación existente entre X y los parámetros de textura, y de haber establecido los modelos matemáticos a utilizar, se procedió a medir el efecto del pH_{SM24} y del contenido de NaCl añadido sobre la relación entre X y los parámetros de textura en músculo curado (Capítulo VI) y en jamón curado (Capítulo VII).

2. Efecto músculo y pH_{SM24} sobre la relación entre el contenido de agua y los parámetros de textura

No hubo efecto significativo ($P > 0,05$) del tipo de músculo (*semimembranosus* versus *biceps femoris*) sobre la relación entre X y los parámetros de textura en músculo curado durante 45 días (Figura 15). No obstante, el músculo *biceps femoris* tendió a presentar una ligera mayor dureza que el músculo *semimembranosus*. Resultado que concuerda con el hallado por Monin y col. (1997) quienes encontraron en músculos frescos de cerdo una mayor dureza en *biceps femoris* que en *semimembranosus*.

Por el contrario, en jamón curado, el músculo *semimembranosus* presentó mayor dureza que el *biceps femoris* a valores de $X < 0,90$ aproximadamente, por encima de este valor la dureza en ambos músculos tendió a ser similar. Costell y Flores (1984) y Virgili y col. (1995b) también encontraron mayor dureza instrumental y Andrés y col. (2004) mayor dureza sensorial en músculo *semimembranosus* que en *biceps femoris* de jamones curados, aunque los dos músculos tenían diferentes

valores de X .

La cohesividad y la elasticidad en jamones curados tendieron a ser mayores en músculo *biceps femoris* que en músculo *semimembranosus* a valores de $X < 0,7$. El comportamiento parece invertirse a valores de $X > 0,7$. Sin embargo, en el presente estudio, no hubo suficiente cantidad de muestras de músculo *semimembranosus* con valores de X por encima de 0,7 para determinar con precisión la diferencia entre ambos músculos a $X > 0,7$.

La Figura 16 muestra el efecto del pH_{SM24} sobre la relación entre X y la dureza en músculo curado y en jamón curado.

Las muestras provenientes de músculo curado con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ tendieron a ser más duras que aquellas muestras de músculo curado con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$.

En el músculo *semimembranosus* de jamón curado la tendencia fue inversa. Las muestras de *semimembranosus* con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ fueron más blandas que las provenientes de $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$. Tabilo y col. (1999) encontraron que los jamones curados con $\text{pH}_{2\text{h}} > 5,8$ y $\text{pH}_{\text{SM24}} < 6,0$ tendieron a ser más duros que aquellos con $\text{pH}_{\text{SM24}} >$

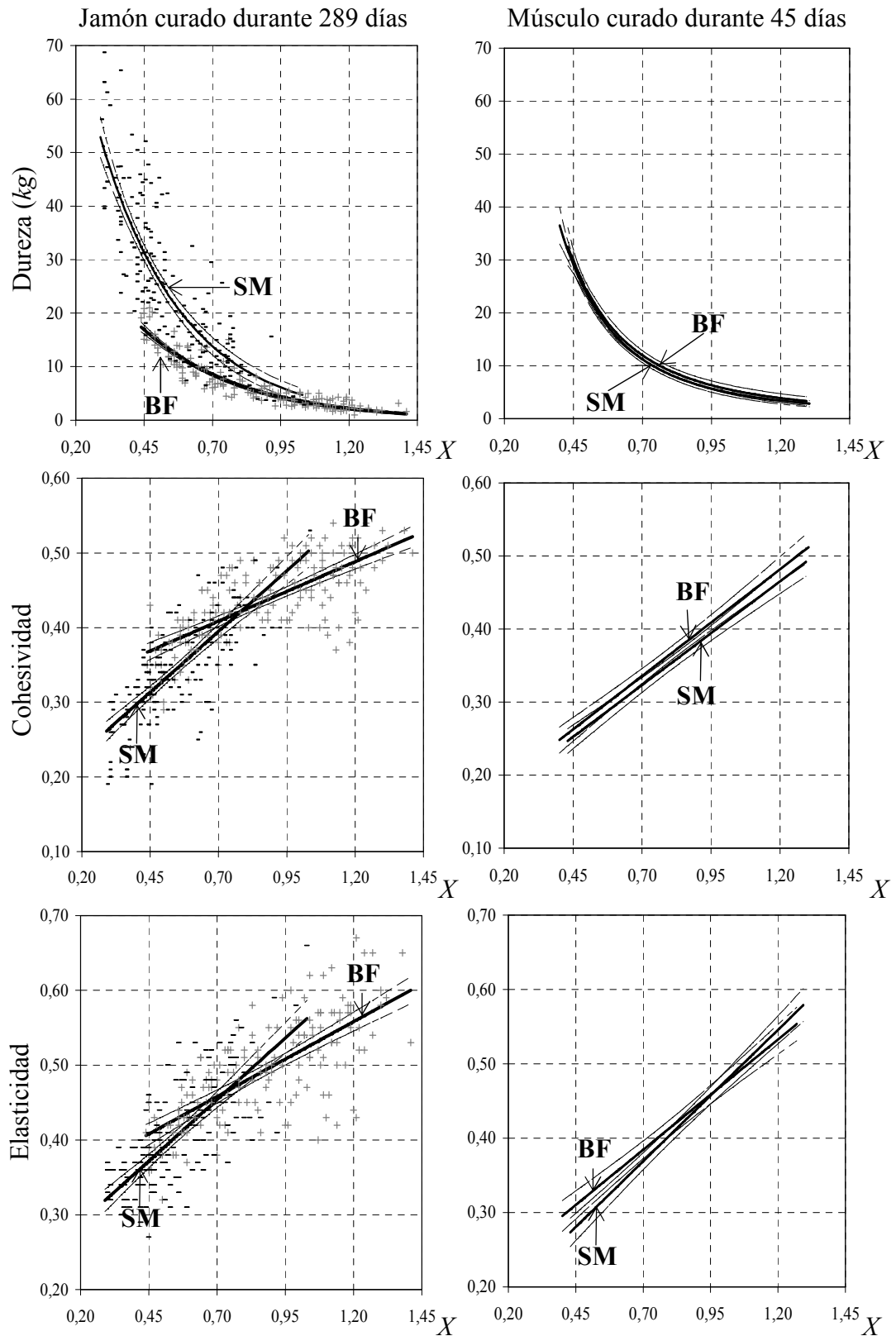


Figura 15. Relación entre X (kg H_2O/kg MS) y los parámetros de textura en los músculos *semimembranosus* y *biceps femoris* de jamón curado y músculo curado.

6,0.

Estas tendencias sugieren que para músculos frescos o productos cárnicos curados por períodos cortos, un $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$ se asocia con menor dureza, debido quizás a un efecto del pH sobre las proteínas de la carne y/o a una mayor actividad de las calpaínas (Yu y Lee, 1986) que son activas por varias semanas (Koohmaraie, 1996) y son detectadas durante los primeros estadios del proceso de elaboración del jamón curado (Sárraga y col., 1993).

Por el contrario, en jamones curados, un $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ se asocia a menor dureza, debido quizás a que un pH bajo favorece la actividad de las catepsinas (O'Halloran y col., 1997) y éstas se mantienen activas durante todo el proceso (Parreño y col., 1994; Sárraga y col., 1993; Toldrá y Etherington, 1988).

El pH_{SM24} afectó de manera significativa ($P < 0,05$) la relación entre X y la cohesividad y la elasticidad de los músculos curados (Figura 17). Las muestras con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ presentaron mayor cohesividad y elasticidad que aquellas con $\text{pH}_{\text{SM}} > 6,2$, a valores de X superiores de 0,7. No obstante, por debajo de este valor de X las diferen-

cias desaparecieron.

En jamón curado no hubo efecto significativo ($P > 0,05$) del pH_{SM24} sobre la relación entre X y la cohesividad y la elasticidad. Sin embargo, hubo una tendencia en el músculo *semimembranosus* con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ a presentar mayor cohesividad y elasticidad que aquellos con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$ a valores de $X > 0,6$.

A un pH bajo las proteínas musculares están más cerca de su punto isoeléctrico, lo que provoca un incremento de los enlaces intermoleculares entre los grupos cargados positiva y negativamente (Hamm, 1986). Este aumento de los enlaces podría ser una de las causas de la mayor cohesividad de los músculos curados y del *semimembranosus* de jamón curado con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$.

3. Efecto de la cantidad de NaCl añadida sobre la relación entre contenido de agua y los parámetros de textura

La Figura 18 muestra el efecto de la cantidad de NaCl añadida sobre la relación entre X y la dureza en muestras de músculos curados según el pH_{SM24} .

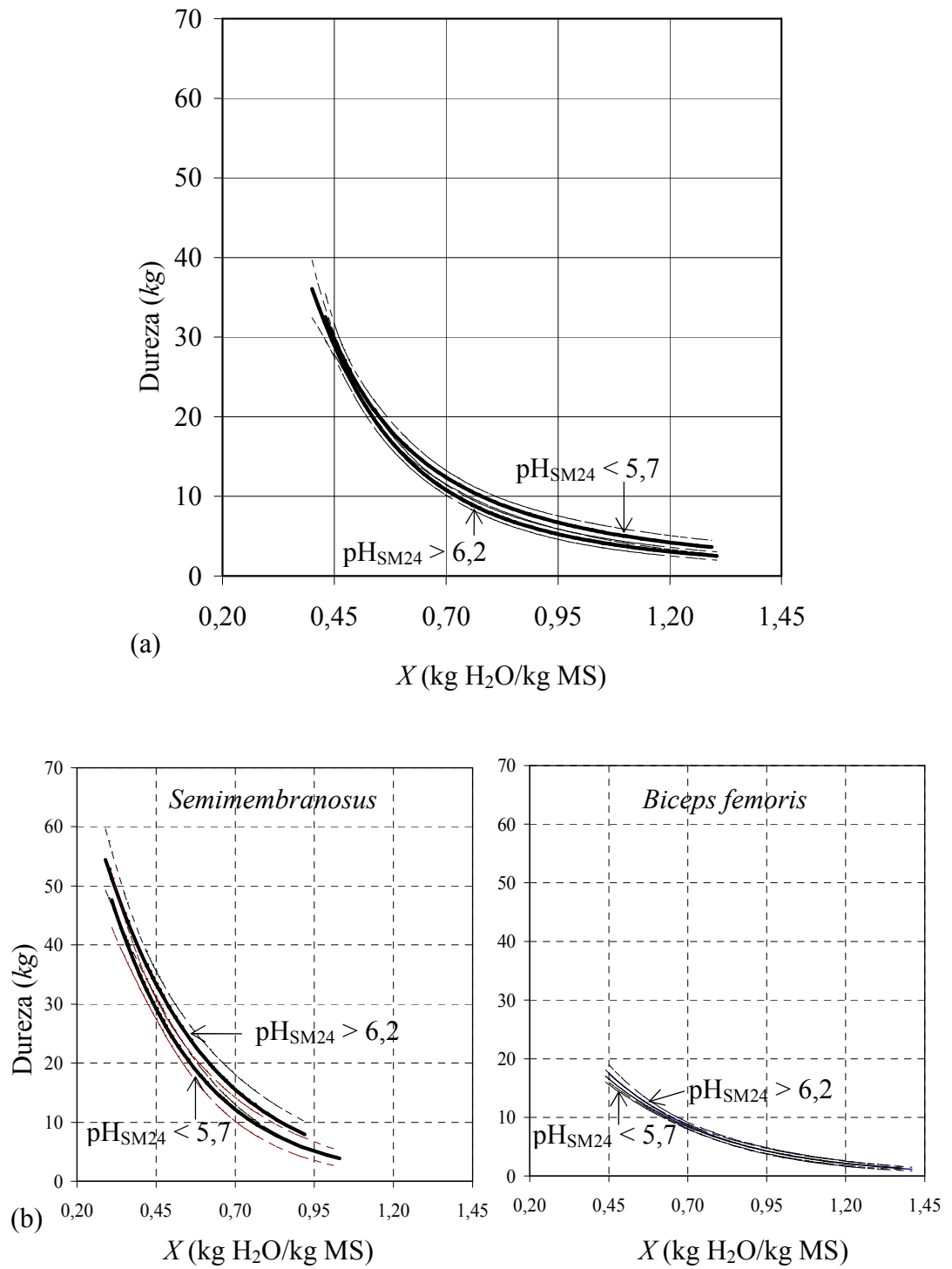


Figura 16. Relación entre X (kg de H₂O/kg de MS) y dureza predicha, según el pH_{SM24} , (a) músculo curado, (b) jamón curado.

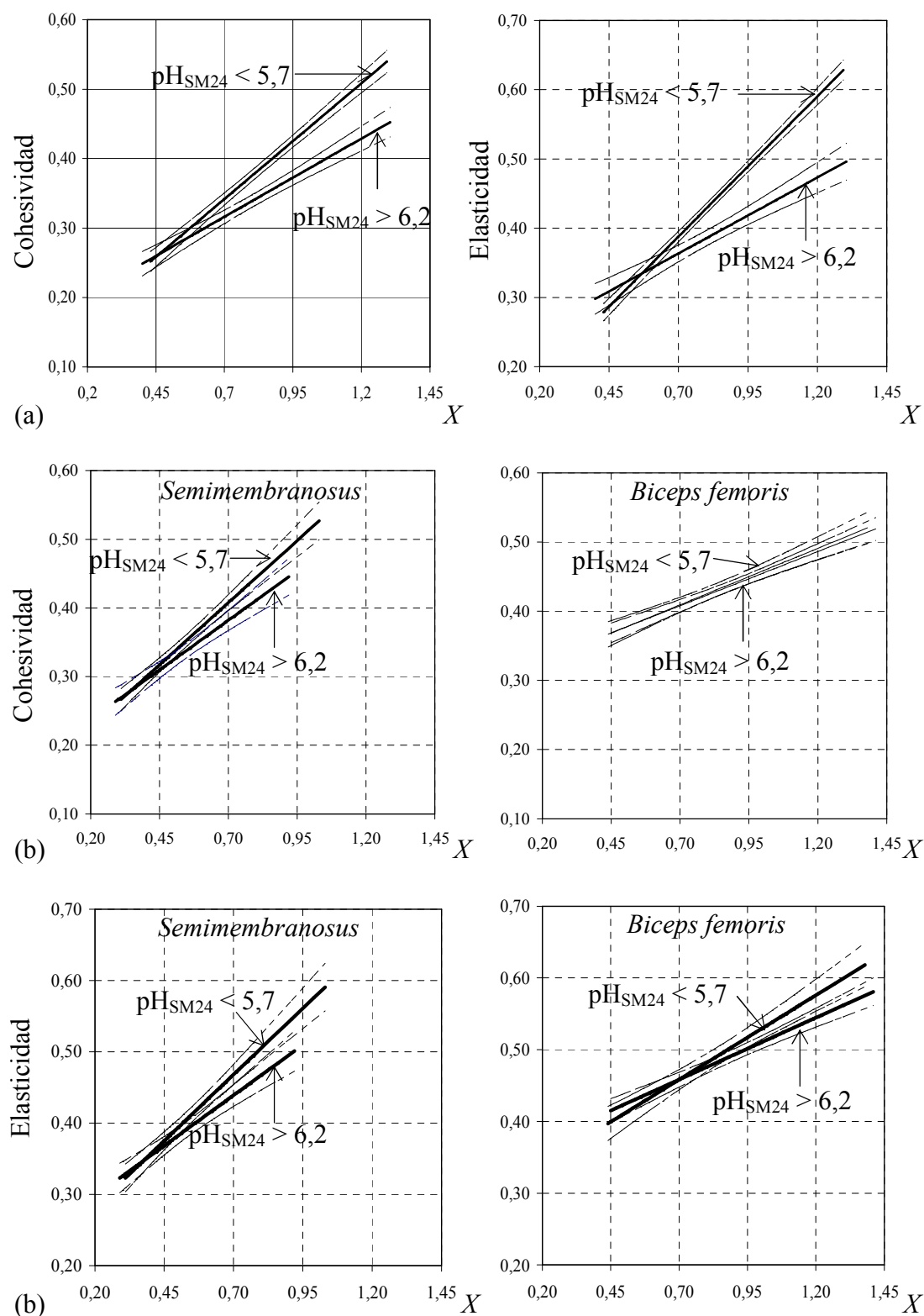


Figura 17. Relación entre X (kg de H_2O/kg MS) y la cohesividad y la elasticidad predicha según pH_{SM24} en (a) músculo curado, (b) jamón curado.

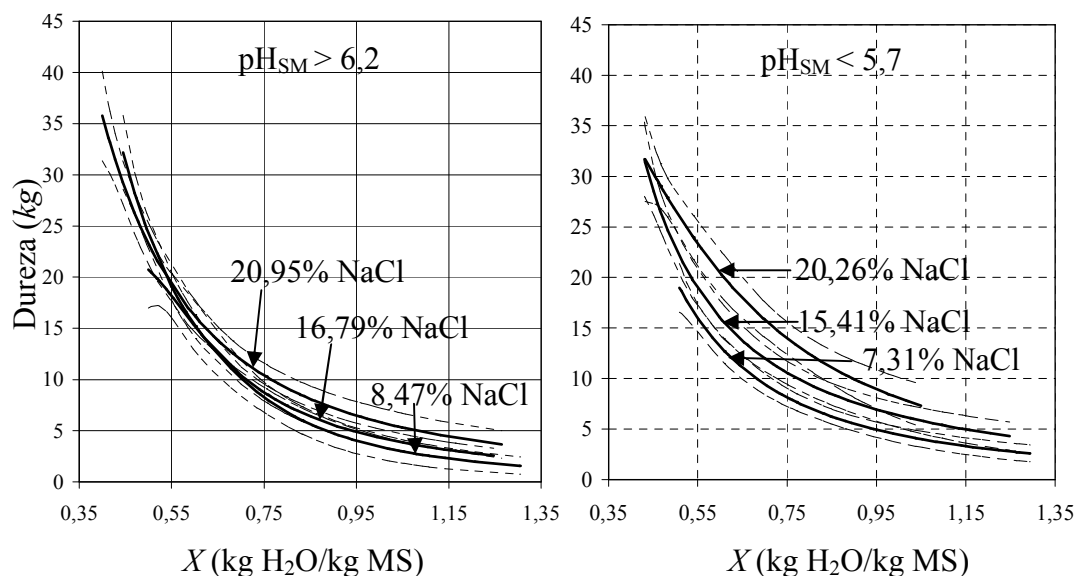


Figura 18. Relación entre X (kg de H₂O/kg MS) y dureza predicha según la interacción pH_{SM24} y el contenido de NaCl expresado sobre base seca en músculo curado.

La dureza aumentó al aumentar la cantidad de NaCl añadida, sobretodo en las muestras provenientes de pernils con $pH_{SM24} < 5,7$. Esto quizás sea debido a que cuando se incrementa el contenido de NaCl, ocurre una mayor compactación de la estructura miofibrilar (Shomer y col., 1987) y un mayor efecto inhibitorio sobre la actividad de las calpaínas (Geesink y col., 1999; 2000), que permanecen activas durante varias semanas (Koohmaraie, 1996). Las muestras de músculos curados con $pH_{SM24} < 5,7$ y un 8% de NaCl añadido (20,26% NaCl en base seca en producto final) mostraron mayor dureza que aquellas

muestras con el mismo pH_{SM} pero con 2% de NaCl añadido (7,31% NaCl en base seca en producto final) y no se diferenciaron estadísticamente ($P > 0,05$) de aquellas con 5% de NaCl añadido (15,41% NaCl en base seca en producto final). Estos resultados son similares a aquellos obtenidos por Arnau y col. (1997; 1998), quienes no encontraron diferencias en dureza evaluada sensorialmente en jamón curado con contenidos de NaCl en base seca de 16,5% *versus* 19,5 y 18,9 *versus* 24,8% respectivamente.

Mientras que en las muestras provenientes de músculo curado con $pH_{SM} > 6,2$ no hubo efecto significati-

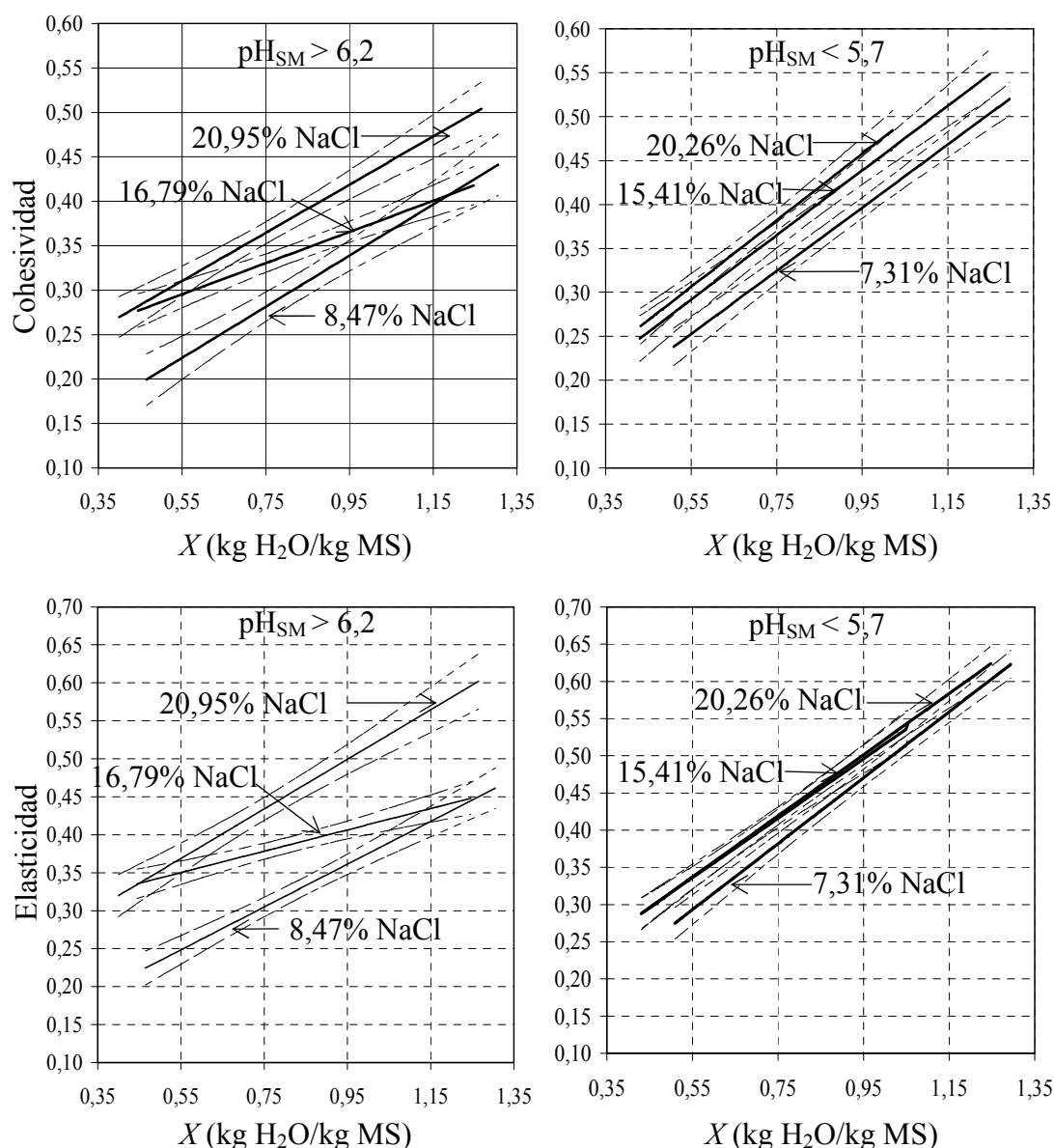


Figura 19. Relación entre X (kg de H₂O/kg MS) y la cohesividad y la elasticidad predicha según la interacción pH_{SM24} y el contenido de NaCl expresado sobre base seca en músculo curado.

vo ($P > 0,05$) de la cantidad de NaCl añadida sobre la dureza, tan sólo se observaron tendencias. Esto quizás podría ser debido a la mayor actividad de las calpainas a pH elevado (Yu y Lee, 1986), que podrían haber actuado

antes de que su actividad se viera frenada por efecto del NaCl.

En ambos grupos de pH_{SM24}, cuando X disminuyó por debajo de 0,6 las diferencias en dureza entre los músculos con diferentes cantidades de

NaCl añadidas fueron muy bajas, quizás porque a valores de X por debajo de 0,6, la dureza está más influenciada por el contenido de agua que por el contenido de NaCl o por el pH.

La cantidad de NaCl añadida afectó significativamente ($P < 0,05$) la relación entre X y la cohesividad y la elasticidad de los músculos curados. A mayor cantidad de NaCl añadido mayor fue la cohesividad y la elasticidad. No obstante, este efecto dependió del pH_{SM24} , siendo más evidente en aquellas muestras de músculo curado con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$ (Figura 19).

En los jamones curados no hubo efecto directo de la cantidad de NaCl añadida sobre la dureza. Debido quizás a que el jamón curado es un sistema donde la sal difunde a lo largo del proceso. Así tenemos, que el contenido de NaCl en base seca al final del proceso es mayor en el músculo *biceps femoris* (16,1%) que en *semimembranosus* (9,9%) (Tabla 10). Resultados que concuerdan con los reportados por Arnau y col. (1995) y Monin y col. (1997). Pero al principio del proceso el músculo que tiene mayor cantidad de NaCl es el *semimembranosus* (Arnau, 1995; Virgili y col., 1995a; Monin y

col., 1997). La combinación de una mayor cantidad de NaCl y el hecho de que el músculo *semimembranosus* sea un músculo externo y, por tanto, más seco, provocaría una disminución de su actividad enzimática mucho antes que en el *biceps femoris*, independientemente de la cantidad de NaCl que presente al final del proceso. Estas podrían ser las razones del mayor índice de proteólisis encontrado en músculo *biceps femoris* (Tabla 10), resultado que concuerda con el encontrado por García-Garrido y col. (2000).

Además, el efecto del nivel de NaCl sobre el índice de proteólisis, en el proceso utilizado en el presente estudio, fue relativamente pequeño, en concordancia con el efecto no significativo del contenido de NaCl sobre la pastosidad y el aspecto brillante en la evaluación sensorial encontrado por Arnau y col. (1997).

4. Efecto del contenido de grasa intramuscular y del índice de proteólisis sobre la relación entre X y los parámetros de textura

El efecto de la cantidad de NaCl

Tabla 11. Medias ($\pm$ D.E) de la composición físico-química de músculos *biceps femoris* y *semimembranosus* de jamón curado al final del proceso

Componentes	pH _{SM24}		Cantidad de NaCl añadida			Músculo	
	< 5,7	> 6,2	2%	5%	8%	BF	SM
X	1,2 $\pm$ 0,4	1,2 $\pm$ 0,4	1,3 $\pm$ 0,5 ^a	1,2 $\pm$ 0,3 ^{a,b}	1,2 $\pm$ 0,3 ^b	1,6 $\pm$ 0,1 ^a	0,9 $\pm$ 0,1 ^b
Xd	1,5 $\pm$ 0,5	1,4 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,6	1,5 $\pm$ 0,5	1,4 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,1 ^a	1,0 $\pm$ 0,2 ^b
Proteína (%)^y	86,3 $\pm$ 3,8	85,9 $\pm$ 3,1	85,4 $\pm$ 3,9	85,8 $\pm$ 2,8	87,0 $\pm$ 3,7	84,0 $\pm$ 3,3 ^b	88,0 $\pm$ 2,3 ^a
GI (%)^y	12,3 $\pm$ 3,4	11,7 $\pm$ 4,0	12,4 $\pm$ 4,1	12,2 $\pm$ 3,1	11,5 $\pm$ 3,9	14,2 $\pm$ 3,8 ^a	9,9 $\pm$ 1,6 ^b
*NaCl (%)	13,4 $\pm$ 5,3 ^a	12,7 $\pm$ 4,7 ^b	8,0 $\pm$ 2,6 ^c	14,6 $\pm$ 3,5 ^b	16,4 $\pm$ 4,0 ^a	16,1 $\pm$ 4,4 ^a	9,9 $\pm$ 3,3 ^b
100•(NNP/NT)	24,2 $\pm$ 4,2 ^a	19,6 $\pm$ 4,7 ^b	23,3 $\pm$ 6,0 ^a	21,4 $\pm$ 4,4 ^{a,b}	20,9 $\pm$ 4,4 ^b	25,4 $\pm$ 3,4 ^a	18,3 $\pm$ 3,4 ^b

Medias con diferentes letras en la misma fila (dentro de cada variable) son diferentes significativamente ($P < 0,05$).

X = kg de H₂O/kg de MS, Xd = X-NaCl, MS_s = materia seca, NaCl = expresado sobre base seca, ^y = expresado sobre base seca desalada, GI = grasa intramuscular, NT = nitrógeno total, NNP = nitrógeno no proteico..

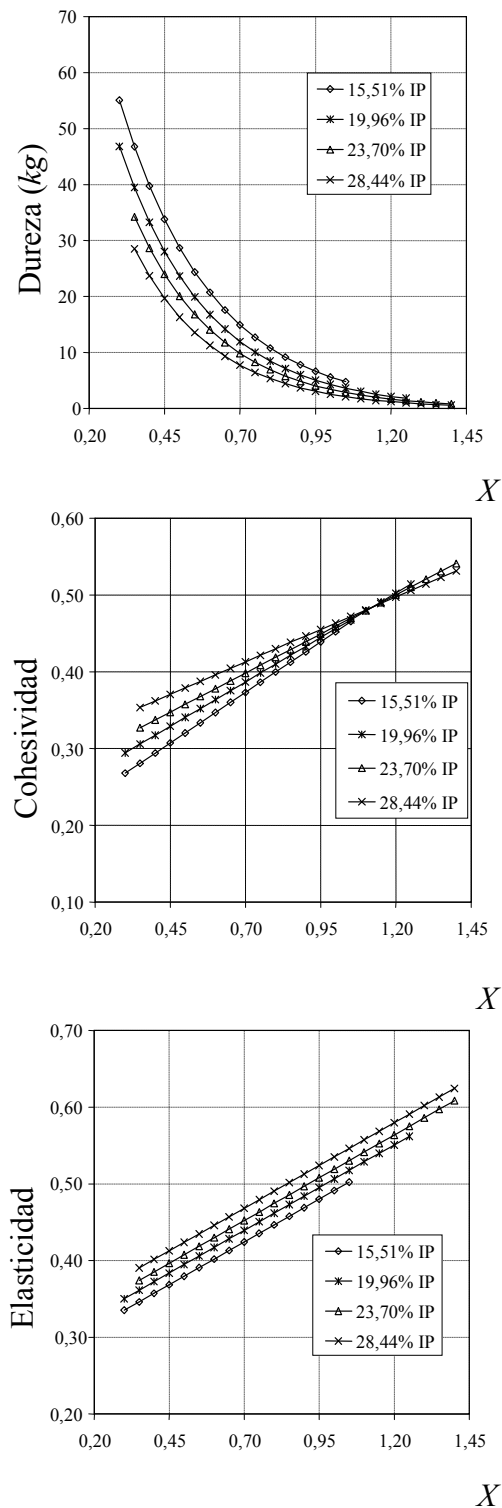


Figura 20. Relación entre X (kg H_2O/kg MS) y los parámetros de textura según el índice de proteólisis en jamón curado.

añadida sobre la relación entre X y los parámetros de textura en jamón curado, indujo a considerar otras variables en el modelo que explicasen las diferencias en dureza entre los músculos *semimembranosus* y *biceps femoris* de jamón curado.

Estudios previos como el de Ruiz-Carrascal y col. (2000) establecen una correlación negativa entre el contenido de grasa intramuscular y la dureza sensorial en jamones curados. Sin embargo, la inclusión de la grasa intramuscular en el modelo que describe la relación entre X y los parámetros de textura no fue significativa cuando se consideró simultáneamente el índice de proteólisis. Posiblemente debido a que el rango de contenido de grasa intramuscular en este estudio fue sólo del 2,8 al 7,2%. Como consecuencia se optó por incluir en los modelos predictivos el índice de proteólisis y la interacción (índice de proteólisis X), quedando los modelos finales de la siguiente manera:

Dureza:

$$Y = a \cdot e^{b \cdot X + c \cdot IP + d \cdot IP \cdot X}$$

Cohesividad:

$$Y = a + b \cdot X + c \cdot IP + d \cdot IP \cdot X$$

Elasticidad:

$Y = a + b \cdot X + c \cdot IP$ (Capítulo VI)

La Figura 20 muestra los parámetros estimados de textura en los rangos de X experimentales, según el IP. La dureza disminuyó cuando el IP incrementó. Resultado similar fue hallado por Virgili y col. (1995b), quienes encontraron una correlación negativa entre la proteólisis y la dureza en jamón curado para valores de X de 1,24 hasta 1,95.

La cohesividad y la elasticidad disminuyeron cuando el IP disminuyó, en concordancia con los resultados mostrados en las Figuras 13 y 14.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrés, A., Cava, R., Ventanas, J., Thovar, V. y Ruiz, J. (2004). Sensory characteristics of Iberian ham: Influence of salt content and processing conditions. *Meat Science*, 68, 45-51.
- Arnau, J., Gou, P. y Comaposada, J. (2003). Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and appearance of dry-cured ham surface. *Meat Science*, 65, 1275-1280.
- Arnau, J., Guerrero, L. y Gou, P. (1997). Effects of temperature during the last month of ageing and of salting time on dry-cured ham aged for six months. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 193-198.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, G. y Gou, P. (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry-cured ham during processing. *Food Chemistry*, 52, 63-69.
- Arnau, J., Guerrero, L. y Sárraga, C. (1998). The effect of green ham pH and NaCl concentration on cathepsin activities and sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 387-392.
- Costell, E. y Flores, J. (1984). Selección de un método de medida de las propiedades mecánicas del jamón curado. *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 24, 347-355.
- García-Garrido, J., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J. y Luque de Castro, M. (2000). Activity of cathepsin B, D, H and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56, 1-6.
- Geesink, G. H. y Koohmaraie, M. (1999). Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by μ -calpain under *post-mortem* conditions. *Journal of Animal Science*, 77, 2685-2692.
- Geesink, G. H. y Koohmaraie, M. (2000). Ionic strength-induced inactivation of μ -calpain in *postmortem* muscle. *Journal of Animal Science*, 78, 2336-2343.
- Gou, P., Comaposada, J., y Arnau, J. (2003). NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of pork ham. *Meat Science*, 63, 29-34.
- Gou, P., Comaposada, J., y Arnau, J. (2004). Moisture diffusivity in the

- lean tissue of dry-cured ham at different process time. *Meat Science*, 67, 203-209.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. Cap. 4. In *Muscle as Food*. Edited by Peter J. Bechtel. University of Illinois at Urbana, Illinois. 135-199.
- Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43, S193-S201.
- Lioutas, T. S., Bechtel, P. J. y Steinberg, M. P. (1984). Desorption and adsorption isotherms of meat-salt mixtures. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 32, 1382-1385.
- Mishiro, T., Sugiyama, M., Minegishi, Y., Abe, H., Kawano, S., y Iwamoto, M. (1995). Non-destructive determination content in dry sausage using near infrared (NIR) transmittance method. *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology*, 42, 436-441.
- Monin, G., Marinova, P., Talmant, A., Martin, J., Cornet, M., Lanore, D. y Grasso, F. (1997). Chemical and structural changes in dry-cured hams (Bayonne hams) during processing and effects of the dehairing technique. *Meat Science*, 47, 29-47.
- O'Halloran, G. R., Troy, D. J., Buckley, D. J. y Reville, W. J. (1997). The role of endogenous proteases in the tenderisation of fast glycolising muscle. *Meat Science*, 47, 187-210.
- Parreño, M., Cussó, R., Gil, M., y Sárraga, C. (1994). Development of cathepsin B, L and H activities and cystatin-like activity during two different manufacturing process for Spanish dry-cured ham. *Food Chemistry*, 49, 15-21.
- Potter, N. y Hotchkiss, J. (1995). Ciencia de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza-España.
- Potter, N. (1986). Food dehydration and concentration. In *Food Science*, Editorial The Avi Publishing Company, Inc. New York. 246-302.
- Sárraga, C., Gil, M., y García Regueiro, J. A. (1993). Comparison of calpain and cathepsin (B, L and D) activities during dry-cured ham processing from heavy and light large white pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 71-75.
- Shomer, I., Weinberg, Z. G. y Vasiliver, R. (1987). Structural binding properties of silvercarp (hypophthalmichthys molitrix) muscle affected by NaCl and CaCl₂ treatments. *Food Microstructure*, 6, 199-207.
- Stanley, D. y Yada, Y. (1992). Physical consequences of termal reactions in food protein systems. In: *Physical Chemistry of Foods*, H. G. Schwartzberg y R. W. Hartel. Ed. Marcel Dekker, Inc, New York. 669-689.
- Tabilo, G. Flores, M. Fiszman, S. y Toldrá, F. (1999). *Postmortem* meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Toldrá, F. & Etherington, D. (1988). Examination of cathepsins B, D, H and L activities in dry-cured hams. *Meat Science*, 23, 1-7.
- Randall, C. y Bratzler, L. (1970). Changes in various protein properties of pork muscle during smoking process. *Journal of Food Science*,

- 45, 248-249.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A., y García, C. (2000). Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, 33, 91-95.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Soresi, C. y Volta, R. (1995a). Effetto della materia prima sulla proteolisi e sulla consistenza del prosciutto crudo tipico. *Industria Conserve*, 70, 21-31.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Soresi, C., y Borri, M. (1995b). Sensory and texture quality of dry-cured ham as affected by endogenous cathepsin B activity and muscle composition. *Journal of Food Science*, 60, 1183-1186.
- Yu, L. P. & Lee, Y. B. (1986). Effects of *postmortem* pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. *Journal of Food Science*, 51, 774-780.

CAPÍTULO

NOVENO

CONCLUSIONES

1. Durante el secado del lomo y del jamón curado, para contenidos de agua inferiores a 1,41 kg de agua/kg de materia seca, hay una disminución de la cohesividad y de la elasticidad proporcional a la pérdida de agua y/o de la disminución de la actividad de agua.
2. En los productos y niveles de secado aquí estudiados, el aumento de la dureza no es proporcional a la pérdida de agua ni a la disminución de la actividad de agua. Existe un intervalo de contenido de agua por debajo del cual hay un mayor incremento de la dureza, que puede estar relacionado con el encostrado superficial de los productos cárnicos crudos curados, tal como se ha demostrado, en este trabajo, en el lomo curado.
3. El intervalo de contenido de agua por debajo del cual hay un fuerte incremento de la dureza se sitúa entre 0,50 y 0,60 kg de agua/kg de materia seca, aunque depende del producto considerado.
4. Los lomos curados encostrados se caracterizan por presentar una mayor dureza y masticabilidad y menor cohesividad en su superficie (3 mm de espesor) con respecto a los lomos no encostrados.
5. La actividad de agua y el contenido de agua de la superficie de los productos cárnicos aquí estudiados, pueden ser usados para predecir la dureza, la cohesividad y la elasticidad superficial. Sin embargo, la precisión es mayor si se usa el contenido de agua.
6. La utilización de pernils con un $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$ en la elaboración de jamones curados provoca menor índice de proteólisis, cohesividad y elasticidad, y mayor dureza en el músculo *semimembranosus*, haciéndolos más propensos a encostrarse.
7. La reducción del nivel de NaCl añadido en la elaboración del jamón curado, especialmente en pernils con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$, provoca un mayor índice de proteólisis en el producto final.
8. Las diferencias de textura entre los músculos *semimembranosus* y *biceps femoris* en jamón curado, no se observan en músculos curados de forma individual, lo que apunta a que se deben en gran medida a los gradientes de contenido de agua y de NaCl que presenta el jamón durante el proceso de elaboración.

9. Los jamones curados con mayor índice de proteolisis en superficie presentan menor tendencia al encostrado.

10. El pH y el índice de proteolisis afectan a la dureza, cohesividad y elasticidad a valores de contenidos de agua entre 0,29 y 1,41 kg de agua/kg de materia seca, los cuales se alcanzan habitualmente en la superficie de los

jamones durante el proceso. Sin embargo, el parámetro más influyente sobre la dureza es el contenido de agua. Por tanto, la medida «*on-line*» del contenido de agua de la superficie podría ser usada como un nuevo parámetro del sistema de control del proceso para prevenir el encostrado y mejorar la calidad del producto.

ANEXOS: COMUNICACIONES A CONGRESOS

EFFECTO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA Y CONTENIDO DE AGUA SOBRE LA TEXTURA DEL JAMÓN CURADO

J. Ruiz-Ramírez, X. Serra, P. Gou, J. Arnau.

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Tecnologia de Processos. Centre
de Tecnologia de la Carn. Granja Camps i Armet, E-17121 Monells, España

**La presente comunicación se presentó en el “II Congreso Mundial del Jamón”,
celebrado en Cáceres-España (25-29 de marzo, 2003)**

La textura constituye una de las propiedades más importantes cuando se evalúa la calidad del jamón curado. Se ha relacionado por un lado con las características de la materia prima, como por ejemplo, el contenido y composición de la grasa intramuscular (Flores y col., 1985; Guerrero y col., 1996), el pH (Arnau y col., 1998) y el potencial proteolítico (Parolari y col., 1994), y por otro con parámetros que dependen del proceso, tales como el contenido de sal (Arnau y col., 1998; Martín y col., 1998) y la temperatura (Arnau y col., 1997; Parolari y col., 1994; Martín y col., 1998). No obstante, existen pocos estudios que relacionen el contenido de agua (X) y/o la actividad de agua (a_w) con la textura del jamón curado. Ruiz-Carrascal y col. (2000), en jamón ibérico, no encontraron relación del contenido de humedad con la textura evaluada por un panel de catadores, en el rango de 19,98 a 49,81% y de grasa intramuscular en el rango de 4,52 al 14,66%.

Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto de a_w y X

sobre la textura del jamón crudo curado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron muestras del músculo *Biceps femoris* de seis jamones curados comerciales (P1-P6) con un contenido de grasa intramuscular de 2,7 a 4,4%.

Estas se prepararon en forma de paralelepípedos de 3×1,5×1,5 cm y se colocaron en recipientes herméticos que contenían una solución saturada de NaBr y se mantuvieron en una cámara a 15 °C. En estas condiciones la humedad relativa en equilibrio del aire del interior de los recipientes es 60,68% (Greenspan, 1977).

Las muestras correspondientes a cada jamón se secaron en el interior de los recipientes durante períodos distintos con el fin de obtener, para cada jamón, muestras con diferentes grados de secado, posteriormente fueron envasadas individualmente en atmósfera de N₂ (bolsas de poliamida y polietileno SACOLIVA®) y almacenadas a 15 °C por un período mínimo de 14 días, con el fin de homogeneizar la muestra.

Análisis de textura

Las muestras fueron cortadas previamente en forma de paralelepípedos de 1×1×1 cm y sobre ellas se realizó un perfil de textura instrumental (TPA) (Bourne, 1978), utilizando para ello un analizador de textura modelo TA-TX (Stable Micro Systems, UK) a una velocidad de cruceta de 5 mm/s. Los cubos de jamón se comprimieron un 50% (en dirección perpendicular a la de las fibras musculares).

Análisis de actividad de agua (a_w) y contenido de agua (X)

En cada una de las muestras se determinó la a_w utilizando un equipo Novasina AW SPRINT a una temperatura de 25 °C y el valor de X (expresado como kg de agua/kg de materia seca) por secado en una estufa a 103±2 °C hasta peso constante (AOAC, 1990).

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de covarianza, utilizando el procedimiento GLM del SAS (1999). El modelo incluyó el

efecto jamón (P) como variable de bloqueo y la a_w o X como covariables. El modelo matemático fue el siguiente: $Y_{ij} = a + P_i + b \cdot x_{ij} + \epsilon_{ij}$; donde: Y_{ij} = variable respuesta; a = intercepto; P_i = efecto del i -ésimo jamón; b = coeficiente de regresión lineal en a_w o X ; x_{ij} = valor j de la variable medida en el i -ésimo jamón y ϵ_{ij} = error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se presentan los resultados del análisis de regresión. El efecto jamón fue significativo para todas las variables de textura analizadas cuando se utilizó como covariable X y solo para dureza con la covariable a_w . Este efecto incluyó factores propios de cada jamón, tanto de materia prima como de proceso que puede afectar la textura. Los valores de R^2 oscilaron entre 0,73 y 0,82.

En la Figura 1 se muestra la relación de la a_w y del valor X con la dureza, cohesividad y elasticidad. La dureza del jamón aumenta a medida que disminuye la a_w y el valor de X . Sin embargo, el aumento de la dureza no guardó una relación lineal con la a_w y X , por lo que pudiera ser necesario

Tabla I. Resultados del análisis de covarianza

Modelo con a_w					
Y	b	a	R ²	RMSE	Jamón (Significancia)
Dureza (kg)	-120,3	103,5	0,79	5,95	***
Elasticidad	0,834	-0,03	0,76	0,04	NS
Cohesividad	0,635	0,07	0,73	0,03	NS
Modelo con X					
Dureza (kg)	-34,20	37,6	0,77	6,21	***
Elasticidad	0,25	0,42	0,82	0,03	*
Cohesividad	0,19	0,41	0,77	0,03	***

* = $P \leq 0,05$; ** = $P \leq 0,01$; *** = $P \leq 0,001$; NS = no significativo

desarrollar modelos de predicción no lineal. Con la covariable X se observa menor dispersión de los datos en comparación con a_w , pareciendo que la predicción de la dureza será más precisa con la información de X que con la de a_w . La dureza aumentó poco al secar la muestra en el rango de a_w comprendido entre 0,90 y 0,70 que corresponde con el rango de X entre 1,30 y 0,60; pero cuando se disminuyó por debajo de estos valores, el aumento de la dureza fue mayor, quizás debido a que la sal se encuentra en buena parte cristalizada a estos valores de a_w (Comaposada *et al.*, 2000). Este aumento observado en la dureza podría relacionarse con el encostrado que se presenta en la superficie del jamón cuando éste es sometido a humedades relativas bajas y temperaturas altas. En

el presente experimento se alcanzó una dureza de 49,7 kg/cm² con una a_w de 0,64 y con un valor de X de 0,35.

Estos resultados difieren de los de Ruiz-Carrascal *et al.* (2000), probablemente debido a que nuestras muestras tenían un contenido de grasa inferior. La elasticidad y la cohesividad presentaron una relación positiva y lineal con la a_w y X . El modelo lineal ajustó mejor con X que con a_w , por lo que estos dos parámetros de textura pueden estimarse mejor utilizando la información de X , un comportamiento similar fue observado en la dureza.

CONCLUSIONES

Estos resultados son esperanzadores en el sentido de poder relacionar, en investigaciones futuras, los

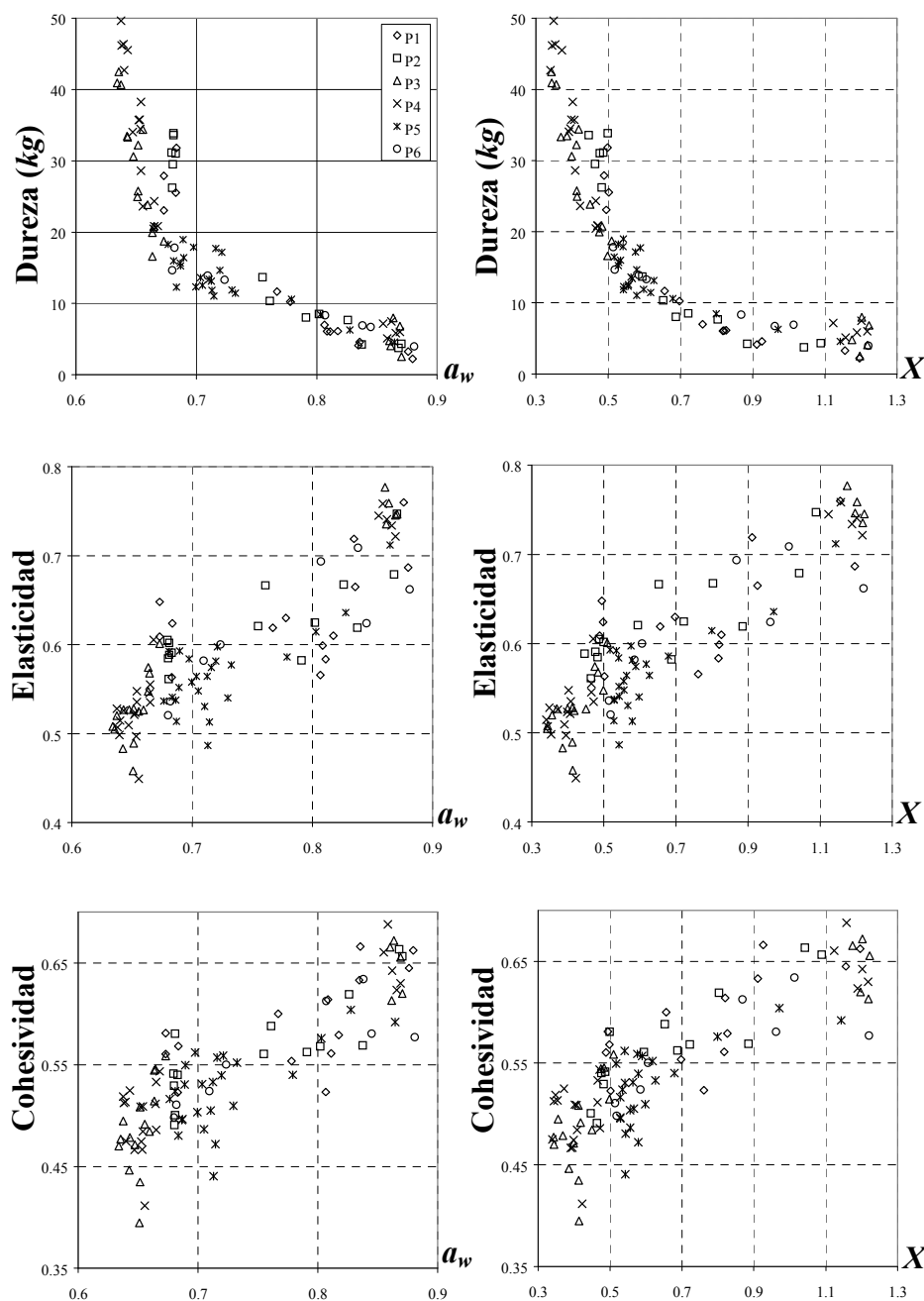


Figura 1. Relación de la actividad de agua (a_w) y el contenido de agua (X ; kg agua/kg materia seca) con las variables dureza, elasticidad y cohesividad del músculo *Biceps femoris* de jamones crudos curados (P1, ..., P6).

parámetros instrumentales de textura (dureza, elasticidad y cohesividad) con el análisis sensorial de la misma y fijar los valores de X óptimos para obte-

ner una textura adecuada. Asimismo, si se desarrolla un sistema de medida online de X de la superficie del producto, los resultados aquí obtenidos

permitirán predecir la textura de la superficie y relacionarla con problemas tales como el encostrado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto AGL2000-0517-P4-04). Asimismo, al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) punto de cuenta: 20002000330 por el cofinanciamiento para estudios de Doctorado de J. Ruiz-Ramírez.

BIBLIOGRAFÍA

Arnau, J., Guerrero, L. & Gou, P. (1997). *J. Sci. Food Agric.* 74: 193-198.

Arnau, J., Guerrero, L. & Sárraga, C. (1998). *J. Sci. Food Agric.* 77: 387-392.

AOAC (1990). Association of Official Analytical Chemist. 15th Ed, Arlington, Virginia, pp 931-935.

Bourne, M.C. (1978). *Food Tech.* 32: 62-66.

Comaposada, J., Gou, P. & Arnau, J. (2000). *Meat Sci.* 55: 291-295.

Flores, J., Nieto, P., Bermell, S. & Miralles, M.C. (1985). *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.* 25 (1): 117-124.

Greenspan, L. (1977). *J. Res. of the Nat. Bur. Stand. Phys. & Chem.* 81A (1):89-96. Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P. & Arnau, J. (1996). *J. Sci. Food Agric.* 70: 526-530.

Martín, L., Córdoba, J., Antequera, T., Timón, M. & Ventanas, J. (1998). *Meat Sci.* 49: 145-153.

Parolari, G., Virgili, R. & Schivazappa, C. (1994). *Meat Sci.* 38: 117-122

Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A. & García, C. (2000). *Meat Sci.* 33: 91-95.

SAS (1999). User's Guide Statistics. Versión 8.1 Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.

DIFERENCIAS EN CONTENIDO DE HUMEDAD, ACTIVIDAD DE AGUA Y PERFIL DE TEXTURA ENTRE LOMO CURADO ENCOSTRADO Y NO ENCOSTRADO

J. Ruiz-Ramírez, Serra, X., Arnau, J., Gou, P.

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Tecnologia de Processos. Centre de Tecnologia de la Carn. Granja Camps i Armet, E-17121 Monells, España



DIFERENCIAS EN CONTENIDO DE HUMEDAD, ACTIVIDAD DE AGUA Y PERFIL DE TEXTURA ENTRE LOMO CURADO ENCOSTRADO Y NO ENCOSTRADO

J. Ruiz-Ramírez, Serra, X., Arnau, J., Gou, P.

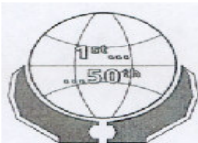
RESUMEN

Este estudio describe los perfiles de actividad de agua, humedad y textura de lomo encostrado versus no encostrado y establece un modelo matemático capaz de describir la dureza en función de actividad de agua y/o humedad. Para ello se utilizaron lomos curados (*longissimus dorsi*) encostrado y no encostrado. Estos fueron loncheados en lonchas de 3 mm de grosor, procediéndose de la parte más externa hacia su interior. A dichas lonchas cortadas a 10×10×3 mm se les realizó un perfil de textura (TPA). En cada loncha se determinó la actividad de agua y la humedad. Se realizó un análisis de varianza, utilizando el procedimiento GLM del SAS. También se llevo a cabo un análisis de regresión no lineal a través del Proc NLIN del SAS, para describir la dureza del lomo a través del contenido de humedad y/o actividad de agua y de regresión lineal para la cohesividad y elasticidad. El lomo encostrado se caracterizó por presentar mayor dureza y masticabilidad y menor cohesividad en la superficie (3 mm de grosor) que el lomo no encostrado. Se encontró una relación no lineal de la actividad de agua y contenido de humedad con la dureza, con valores de R^2 de 0,89 y 0,96 respectivamente, el modelo matemático fue $Y = (1/a + b \cdot X + c \cdot X^2)$. La actividad de agua y el contenido de humedad mostraron una cierta relación lineal con la cohesividad. Sin embargo, no se encontró relación con la elasticidad. En conclusión, la humedad describió mejor la dureza y masticabilidad que la actividad de agua. Ambas variables mostraron relaciones de tipo no lineal. El seguimiento «on-line» de la actividad de agua y de la humedad en la superficie permitirían estimar los parámetros de textura y de esta manera prevenir el encostrado.

DESCRIPTIVE EMPIRICAL MODEL OF INSTRUMENTAL HARDNESS CHANGES IN DRY-CURED *SEMIMEMBRANOSUS* *AND BICEPS FEMORIS* MUSCLES AS A FUNCTION OF WATER CONTENT, NaCl AND pH

J. Ruiz-Ramírez, J. Arnau, L. Guerrero, P. Gou

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Centre de Tecnologia de la Carn,
Granja Camps i Armet s/n, 17121 Monells, Girona, Spain



International Congress of Meat Science and Technology 2004

Ruiz-Ramirez, J. has presented the following paper as a poster in 50th
International Congress of Meat Science and Technology, 8-13.8.2004.

DESCRIPTIVE EMPIRICAL MODEL OF INSTRUMENTAL HARDNESS CHANGES IN
DRY-CURED *SEMIMEMBRANOSUS* AND *BICEPS FEMORIS* MUSCLES AS A FUNCTION
OF WATER CONTENT, NaCl AND pH
Ruiz-Ramirez, J., Arnau, J., Guerrero, L. and Gou, P.

12.8.2004

Marita Ruusunen

Marita Ruusunen
Scientific Secretary
50th Icomst

University of Helsinki, Department of Food Technology
Meat Technology
P.O. Box 66 FI-00014 University of Helsinki
Finland
e-mail : icomst-2004@helsinki.fi
www: [www: www.icomst2004.helsinki.fi](http://www.icomst2004.helsinki.fi)

Descriptive empirical model of instrumental hardness changes in dry-cured *Semimembranosus* and *Biceps femoris* muscles as a function of water content, NaCl and pH

ABSTRACT

The experimental relationship between hardness and water content has been reported but until now no attempt has been made to describe the effect of NaCl and pH on this relationship. The aim of this study was to model the relationship between water content and hardness of dry-cured meat products considering the NaCl and pH effects. The experiment was undertaken using 18 hams. Half of the hams had a $\text{pH} < 5.7$ and the rest a $\text{pH} > 6.2$, measured on *Semimembranosus* (SM) muscle at 24-h post mortem (pH_{SM}). SM and *Biceps femoris* (BF) muscles were separated from the hams and salted with 0.5 g of KNO_3 , 0.3 g of NaNO_2 and depending on treatment with 20, 50 and 80 g of NaCl per kg of muscle. These muscles were individually packaged in bags and were horizontally placed in trays in a room at 2 ± 2 °C for 45 days. Thereafter nine samples from each muscle were shaped as a parallelepiped. The rest of the muscle was ground and packaged until its subsequent physicochemical analysis. A texture Analyzer was used to determine hardness, which was defined by the maximum peak force during the compression cycle. The parallelepiped samples used for texture analysis were immediately cut up and water content was determined, expressed on a dry matter basis (DM) ($X = \text{kg H}_2\text{O} / \text{kg DM}$). Sodium chloride content, water content and pH were determined in the rest of the ground muscle. All the statistical analyses were carried out with the SAS statistical package, through a non-linear regression analysis (PROC NLIN). The results indicated that for a range of X between 0.8 and 1.3 the hardness remains practically unchanged while for $X < 0.6$ the hardness increases substantially. The BF and SM muscles presented similar hardness at each water content. The samples from hams with low pH_{SM} presented greater hardness than those from hams with high pH. The NaCl effect was different depending on the pH_{SM} . The NaCl effect was more evident in samples from hams with low pH_{SM} than in those from hams with high pH_{SM} . The latter in the range of X between 0.6 and 1.3 presented similar hardness for NaCl content of 2% and 5% and higher for 8%. In conclusion, the exponential model was found appropriate for describing the relationship between hardness and water content (X). The hardness of the muscles was affected by the pH_{SM} and the NaCl content. As the NaCl content increases the hardness increases, especially at $\text{pH}_{\text{SM}} < 5.7$. At X values lower than 0.6 the hardness is more influenced by water content than by NaCl content or pH.

Key words: hardness, water content, pH, NaCl, dry-cured meat.

Background

The dry-cured ham process involves a long drying period that produces a gradient in hardness in the product. Extreme superficial hardness could cause the crust formation, which is one of the most important problems in cured meat products. This problem is related to a high drying rate on the outer part while in the inner part there is a high moisture content. The diffusion rate of water from the inner zone does not compensate the high dehydration rate on the surface and consequently the surface hardens and forms a crust (Flores, 2001). The experimental relationship between hardness and water content has been reported by various authors (e.g. Virgili *et al.*, 1995; Ruiz-Ramírez *et al.*, 2003) but until now no attempt has been made to describe the effect of NaCl and pH on this relationship. According to Ruiz-Ramírez *et al.* (2003), the hardness-water content relationship can be described by an exponential model.

The effect of pH and NaCl content on the texture of dry-cured meat products has been examined in

previous studies. Arnau *et al.* (1998) and Guerrero *et al.* (1999) established higher hardness for normal or low pH hams than for high pH hams. Whereas, Magraner *et al.* (2003) associated high pH levels with harder dry-cured hams. Low NaCl content was related with pastiness and softness in dry-cured ham (Arnau, 1991), while high NaCl content increases the shear force in dried fish products (Iseya *et al.*, 1998).

Objectives

The aim of this study was to model the relationship between water content and hardness of dry-cured meat products considering the NaCl and pH effects.

Materials and methods

The experiment was undertaken using 18 hams. Half of the hams had a pH<5.7 and the rest a pH>6.2. The pH was measured on *Semimembranosus* (SM) muscle at 24-h post mortem (pH_{SM}) with a combined electrode (Ingold 406, Ingold, Urdof, Switzerland) attached to a portable pH-meter (Crison 507, Crison Instruments

S. A, Barcelona, Spain). SM and *Biceps femoris* (BF) muscles were separated from the hams and manually rubbed with a dry salt-cured mixture of 0.5 g of KNO_3 , 0.3 g of NaNO_2 and depending on treatment with 20, 50 and 80 g of NaCl per kg of muscle (8.19%, 16.67% and 21.29%) on a dry mater basis (DM) respectively. These muscles were individually packaged in bags of polyamide and polyethylene (SACOLIVA® permeability: 2.6 g H_2O / m^2 / day at 23 °C / 85%RH) and were horizontally placed in trays in a room at 2 ± 2 °C for 45 days. Thereafter nine samples from each muscle (N=324) were shaped as a parallelepiped (4x2x2 cm). The rest of the muscle was ground and packaged in metallic bags (SACOLIVA® permeability: < 1 mg H_2O /m²/day, to 23 °C/85%HR), and stored at 2 ± 2 °C until its posterior physicochemical analysis. Each parallelepiped was weighed in an analytical balance of 0.01 mg of precision (Mettler PE 300) and was dried in a drying tunnel at 3 ± 2 °C, $57.5\pm 2.5\%$ RH and 1m/s air speed, until desired levels of drying were reached. Levels of drying used corresponded to the range of water

content 28.5 - 59.7%. The dried samples were individually packed in plastic bags (20 μm polyamide / 70 μm polyethylene; water vapor permeability: 2.0 g/m²/24h; SACOLIVA S.L.®, Castellar del Vallès, Barcelona) with a 70% nitrogen atmosphere and kept at 15 ± 2 °C for a minimum of 30 days to allow homogenization of NaCl and water throughout the sample.

A texture Analyzer (Universal MTS Alliance model. RT/5, SEM, Barcelona, Spain) was used to determine hardness. Before carrying out texture analyses nitrogen-packed samples were kept for one hour at room temperature. The cores of the dry-cured muscles were accurately carved with a scalpel into 10 × 10 × 10 mm (length × width × height) and triplicates were obtained. The samples were compressed to 50% of their original height. Force-time curves were recorded at crosshead speed of 1 mm/s. Hardness was defined by maximum peak force during the compression cycle.

The parallelepiped samples used for texture analysis were immediately cut up and water content was determined

by drying at 103 ± 2 °C until reaching constant weight (AOAC, 1990). Water content of the samples was expressed on a dry mater basis (DM) ($X = \text{kg H}_2\text{O} / \text{kg DM}$).

Sodium chloride content was determined by the Volhard method (ISO 1841-1: 1996), water content (AOAC, 1990) and pH (measured with a xerolyt penetration electrode Cri-son) were determined in the rest of the ground muscle.

Statistical analysis: All the statistical analyses were carried out with the SAS statistical package (SAS Institute, 1999). The relationships between hardness and water content on a dry mater basis (X) were studied through a non-linear regression analysis (PROC NLIN). The following model was used:

$$Y = aX^b \quad (1)$$

Where Y is the predicted hardness, a and b are the model parameters and X = water content on a dry mater basis.

Results and discussion

Figure 1 shows the relationship between hardness and X for all dry-cured samples. Experimental data

indicate that for a range of X between 0.8 and 1.3 the hardness remains practically unchanged while for $X < 0.6$ the hardness increases substantially. This substantial increase occurs at different values of X according to the product, i.e.: 0.8 in dry-cured loin (Ruiz-Ramírez, submitted) and 0.6 in dry-cured ham (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2003). In the present study, the substantial increase of the hardness is similar to the one observed in dry-cured ham. The different anatomical origin of the samples can explain the difference between ham and loin. Figure 2 (a) shows the predicted hardness by muscle. The BF and SM muscles presented similar hardness at each water content. Figure 2 (b) shows the predicted hardness according to pH measured in the muscle SM (pH_{SM}). The samples from hams with low pH_{SM} presented greater hardness than those from hams with high pH at X values from 0.6 to 1.3. But when X diminished below 0.6 the differences between samples from hams with different pH_{SM} were not significant ($P > 0.05$). Nevertheless, at $X > 0.7$, which corresponds to the inner part of the dry-cured ham, the samples from

hams with low pH_{SM} presented greater hardness. The lowering of the meat pH closer to the isoelectric point of myosin, increases intermolecular linkages between negatively and positively charged groups, which would explain the greater hardness in the muscles with low pH. This result agrees with those reported by Arnau *et al.* (1998) and Guerrero *et al.* (1999), who found a higher hardness for low pH hams than for high pH hams at X values around 1.7.

The NaCl content also influenced the hardness of the muscles (Figure 3a and 3b). The muscles with higher NaCl content presented higher hardness for samples from hams with low pH_{SM} . These results are probably due to the fact that when high NaCl contents are used there is a compaction of myofibrillar structure (Shomer *et al.*, 1987), which would increase the hardness. Similarly, Iseya (1998) found a higher hardness when the NaCl content was increased in dried fish products. The NaCl effect was different depending on the pH_{SM} . The NaCl effect was more evident in samples from hams with low pH_{SM} than in those from hams with high

pH_{SM} , which presented similar hardness for NaCl content of 2% and 5% and higher for 8% in the range of X between 0.6 and 1.3. But when X diminished below 0.6 the significant differences between samples from hams with different NaCl content disappeared.

The behavior observed for the NaCl content was similar to that observed for pH, in the sense that when the X values diminished below 0.6, the differences among NaCl contents were lower. These results show that at X values below 0.6, which were achieved in the surface layer of dry-cured meats products, the hardness is more influenced by the water content than by NaCl or pH.

The estimates of parameters, the residual standard deviation (RMSE) and coefficient of determination (R^2) of the equation (1) obtained from the non-linear regression analysis for all dry-cured samples (general model), by muscle, pH_{SM} and NaCl content are showed in Table 1. The lowest RMSE for the model was for samples from hams with high pH_{SM} and 5% of NaCl and for samples from hams with low pH_{SM} and 2% NaCl content.

Conclusions

An exponential model was found appropriate for describing the relationship between hardness and water content (X). The hardness of the muscles was affected by the pH_{SM} and the NaCl content. As the NaCl content increases the hardness increases, especially at $\text{pH}_{\text{SM}} < 5.7$. At X values lower than 0.6 the hardness is more influenced by water content than by NaCl content or pH.

Acknowledgements

This research was financed by the Spanish Ministry of Science and Technology (AGL2000-0517-P4-04 project). The authors gratefully acknowledge the National Funds of Science, Technology and Innovation FONACIT of Venezuela for co-financing the doctorate studies of Ruiz-Ramírez and CONDES-LUZ for financing the congress attendance.

References

- AOAC (1990). 15th Ed, Arlington, Virginia, pp 931-935.
- Arnau, J., Guerrero, L., & Sárraga, C. (1998). *Journal of Science Food and Agriculture*, 77, 387-392.
- Arnau, J. (1991). Tesis, Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Veterinaria, España.
- Flores, J. (2001). *Revista de la Asociación de Industrias de la Carne de España*. Octubre-Diciembre, 75, 5-10.
- Guerrero, L., Gou, P., & Arnau, J. (1999). *Meat Science*, 52, 267-273.
- Iseya, Z., Sugiura, S., & Saeki, H. (1998). *Fisheries Science*, 64 (6) 969-972.
- ISO 1841-1: 1996. Determination of chloride content-Part 1: Volhard method. Geneva: International Organization for Standardization.
- Magraner L., Sánchez, J., Gisbert, M. Sanjuán, R., & López N. (2003). *II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J. (2003). *II Congreso Mundial del Jamón Curado*. Cáceres-España.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J. (2004). *Meat Science*, submitted.
- SAS Institute. (1999). 8.01. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Shomer, I., Weinberg, Z. G., & Vasiliver, R. (1987). *Food Microstructure*, 6, 199-207.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Bordini, C. S., & Borri, M. (1995). *Journal of Food Science*, 60 (6), 1183-1186.

Table 1. Estimates of parameters from the non-linear regression of hardness versus water content on dry mater basis (X).

Dry-cured muscles		a	b	r^2	RMSE
General model		5.5119	-2.0985	0.82	3.70
	pH<5.7	6.0903	-1.9879	0.82	3.89
pH					
	pH>6.2	4.9980	-2.2022	0.84	3.41
NaCl pH _{SM} < 5.7	2%	4.4071	-2.1529	0.83	2.16
	5%	6.1547	-1.9141	0.86	3.29
	8%	8.7051	-1.5938	0.79	4.28
NaCl pH _{SM} > 6.2	2%	4.5340	-2.3245	0.73	4.08
	5%	4.3105	-2.4846	0.91	2.35
	8%	5.8779	-1.9775	0.87	3.52

a and b parameters of the model; r^2 , coefficient of determination; RMSE, residual standard deviation.

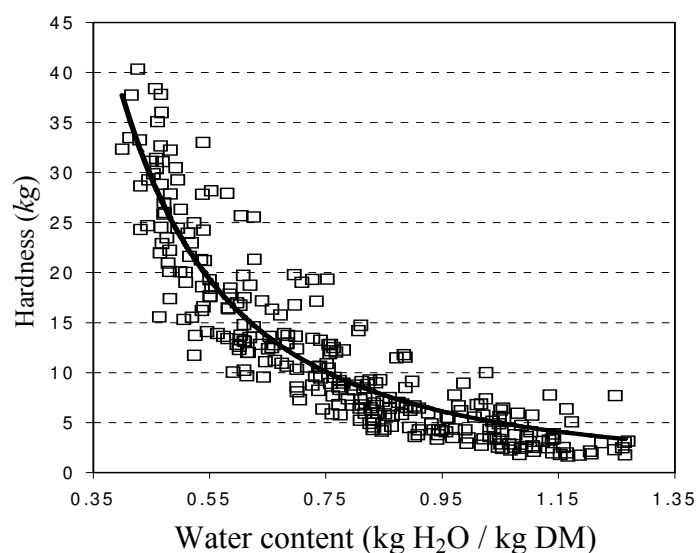


Figure 1. Hardness *versus* water content for overall samples. $\square$ experimental hardness; — predicted hardness ($Y = aX^b$).

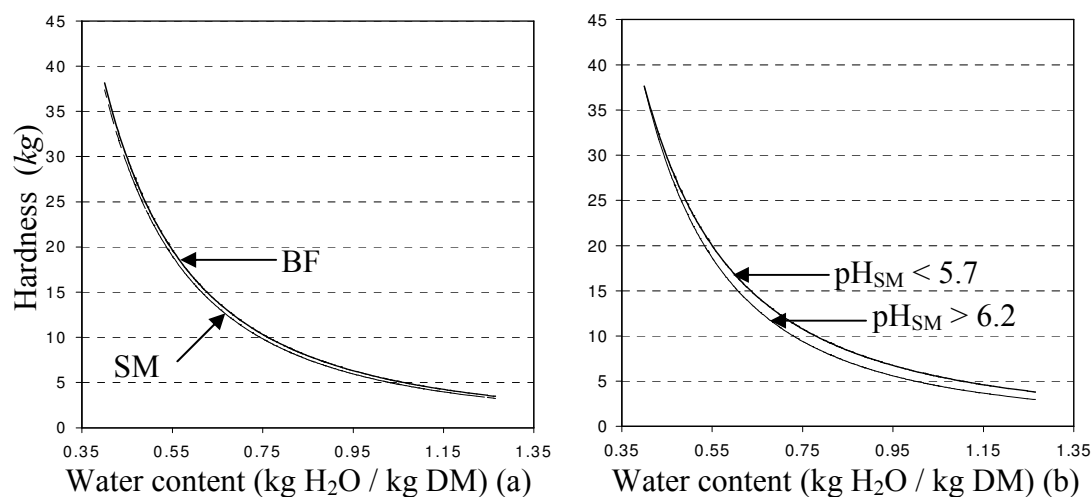


Figure 2. Predicted hardness *versus* water content by muscle (a) and by pH_{SM} (b) in dry-cured muscles.

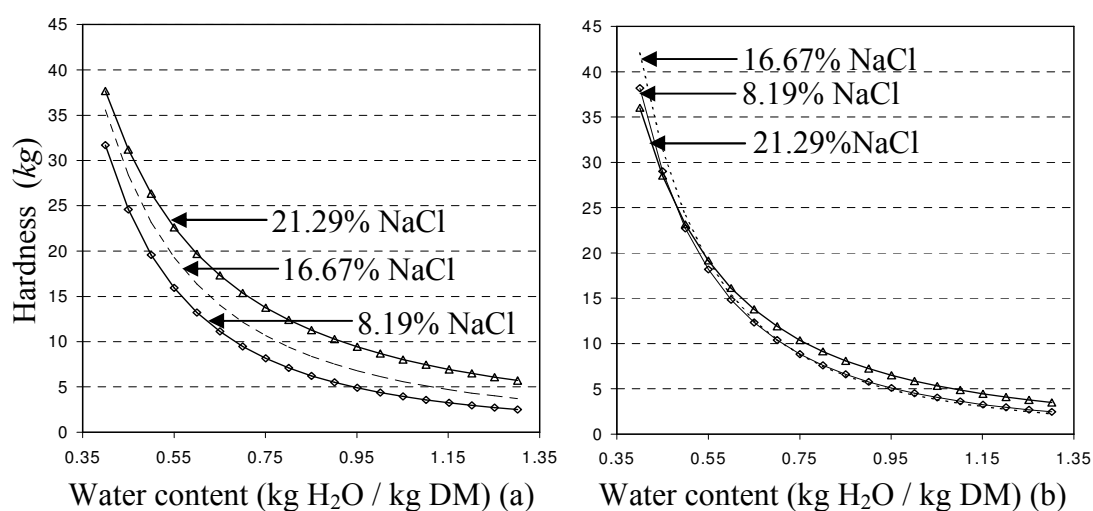


Figure 3. Predicted hardness *versus* water content by NaCl content in dry-cured muscles with pH_{SM} < 5.7 (a) and pH_{SM} > 6.2 (b).

**EFFECTO DEL pH₂₄ Y DE LA CANTIDAD DE NaCl AÑADIDA
SOBRE LA TEXTURA FINAL DE LA SUPERFICIE DEL JAMÓN
CURADO**

J. Ruiz-Ramírez, X. Serra, P. Gou, J. Arnau

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Unitat de Tecnologia de
Processos. Centre de Tecnologia de la Carn. Granja Camps i Armet, E-17121
Monells, España. jacint.arnau@irta.es

**La presente comunicación ha sido aceptada para su presentación en el “III
Congreso Mundial del Jamón”, el cual se celebrará en Teruel-España (18-20 de
mayo de 2005)**

Uno de los problemas de textura descritos en jamón curado es el encostrado (Arnau, 1998), problema relacionado con una alta tasa de secado en la parte externa, mientras que la parte interna permanece con un alto contenido de humedad. La difusión de agua desde las zonas internas no compensa la deshidratación de la superficie y en consecuencia ésta endurece y se forma la costra.

Arnau (2000) establece que un pH elevado podría favorecer la formación de una costra exterior reseca. Sin embargo, no se han encontrado estudios que midan el efecto del pH sobre el encostrado. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo es medir el efecto del pH y de la cantidad de sal añadida sobre la textura de la superficie del jamón curado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 18 pernils, 9 con un pH de 6,2 y 6,9 y 9 con un pH entre 5,5 y 5,7 medido en el músculo *semimembranosus* (SM) a las 24 h *postmortem* (pH_{SM24}). Fueron salados de forma manual con 0,5 g de KNO₃ y 0,3 g de NaNO₂, y dependiendo del

tratamiento con 2, 5, y 8% de NaCl. Después fueron procesados de forma tradicional durante 289 días hasta la obtención del jamón curado, con una merma aproximada del 33%. Del músculo SM de cada jamón se obtuvieron 9 trozos de 4×2×2 cm. Sobre el resto de músculo se determinaron los contenidos de nitrógeno no proteico (NNP) (Kerese, 1984), nitrógeno total (NT) por el método Kjeldahl y cloruros (Berman, 1976). El índice de proteólisis (IP) se calculó mediante la relación (NNP/NT)·100. Los trozos fueron secados a 3±2 °C hasta alcanzar niveles de secado entre 51,1% y 22,7% de humedad. Posteriormente fueron envasados individualmente en atmósfera de N₂ y almacenados a 2±1 °C por un período mínimo de 30 días, con el fin de equilibrar el contenido de agua en la muestra. Se realizó un perfil de textura instrumental (TPA) sobre paralelepípedos de 1×1×1 cm (50% de compresión y 1 mm/s de velocidad de cruceta). Se registró la dureza (kg) y la cohesividad. Posteriormente, se determinó el valor de *X* (expresado como kg de agua/kg de materia seca) (AOAC, 1990). La relación entre dureza y *X* se ajustó a un modelo no

lineal ($Y=a \cdot e^{b \cdot X}$) mientras que la relación entre X y cohesividad se ajustó a un modelo lineal ($Y= a+b \cdot X$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra una relación no lineal de X con la dureza. Esta última aumenta ligeramente, al disminuir X de 1,1 a 0,7; pero por debajo de estos valores el aumento de la dureza es mayor. En las condiciones del presente estudio, valores de X por debajo de 0,6; que pueden encontrarse en la superficie del jamón (Arnau y col., 2003), provocaron un importante gradiente de la dureza del producto que explicaría la percepción táctil del encostrado. Este incremento sustancial de la dureza ocurrió a igual valor de X en músculos *biceps femoris* (BF) y SM curados por 45 días (Ruiz-Ramírez y col., 2005a), pero fue diferente al observado en lomos curados (Ruiz-Ramírez y col., 2005b). Al parecer los valores de X donde ocurre el incremento sustancial de la dureza dependerá de las características intrínsecas del músculo utilizado. Aunque el efecto del pH_{SM24} sobre la dureza y la cohesividad no fue significativo

($P>0,05$), las muestras provenientes de jamones curados con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ tendieron a presentar menor dureza y mayor cohesividad que las muestras provenientes de jamones curados con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$. Esta diferencia en dureza, quizás sea debida al menor índice de proteólisis de las muestras de $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$ que de las de $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ (Tabla 1), lo cual podría tener su origen en la mayor actividad proteolítica de las catepsinas, la cual se mantiene en cierta medida activas durante todo el proceso (Toldrá y Etherington, 1988) y es favorecida a pH bajo (Arnau y col., 1998), a diferencia de la actividad de las calpaínas que sólo son detectadas durante las primeras etapas del proceso (Sárraga y col., 1993) y es favorecida por un pH alto. Esta tendencia concordaría con lo indicado por Arnau (2000) sobre la mayor susceptibilidad de los jamones con pH elevado a encostrarse. Sin embargo, a valores de $X>1,5$ Arnau y col. (1998) encontraron una menor dureza en músculos de $\text{pH}>6,2$ que en músculos de $\text{pH}<5,8$. No se encontró efecto de los niveles de NaCl añadido sobre la textura ni sobre el IP del músculo SM,

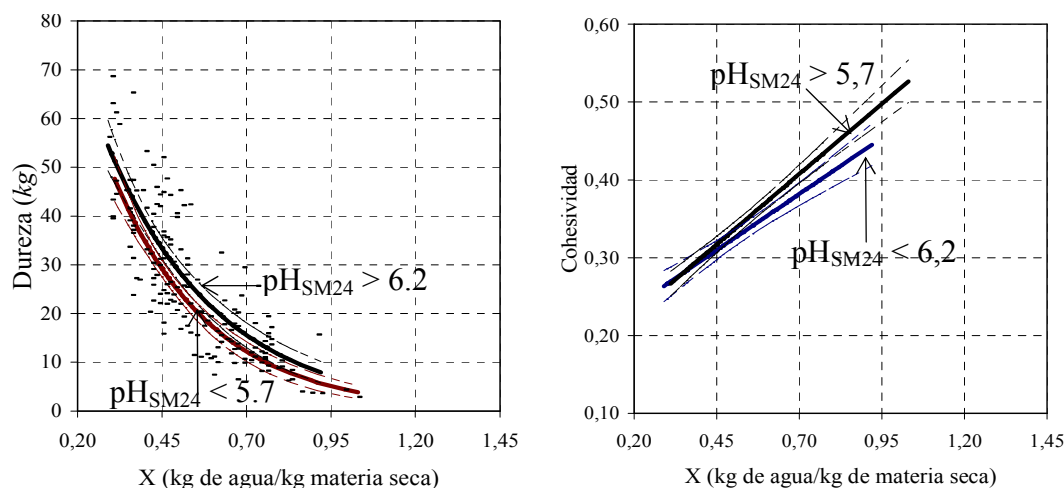


Figura 1. Efecto del pH_{SM} sobre la relación X con dureza y cohesividad en jamones curados.

Tabla 1. Contenido de NaCl e IP de músculo SM en jamones curados (media±desviación estándar).

Variables	pH_{SM24}		Cantidad de NaCl añadida			$\text{pH}_{\text{SM24}} \times \text{NaCl}$
	< 5,7	> 6,2	2%	5%	8%	
*NaCl (%)	9,7±3,0 ^b	10,1±4,6 ^a	5,6±1,0 ^c	11,3±0,6 ^b	12,8±1,2 ^a	NS
IP (%)	20,9±2,8 ^a	15,8±2,0 ^b	18,8±4,9	18,1±2,6	18,1±3,3	NS

Medias con distintos superíndices dentro de pH_{SM24} o cantidad de NaCl añadida son significativamente diferentes $P < 0,05$; *Expresado como porcentaje en base seca.

probablemente porque las diferencias de contenido de NaCl en estos músculos a lo largo del proceso no fueron tan importantes como las que se observa en el músculo BF.

CONCLUSIONES

El seguimiento «on-line» del contenido de agua en la superficie del producto, puede ayudar a predecir la dureza de la superficie y a prevenir el encostrado. Las muestras provenientes

de jamones con $\text{pH}_{\text{SM24}} < 5,7$ presentaron mayor índice de proteólisis y tendieron a presentar menor dureza que aquellas provenientes de jamones con $\text{pH}_{\text{SM24}} > 6,2$, lo cual los hace menos susceptibles a presentar problemas de encostrado en superficie.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto AGL2003-04612). Asimismo,

mo, se agradece al FONACIT de Venezuela por el cofinanciamiento para estudios de Doctorado de J. Ruiz-Ramírez.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (1990). Ed, Arlington, Virginia-USA;
- Arnau, J. (1998). Tecnología y análisis de consumo. 44th ICoMST, Barcelona; Arnau, J. (2000). II Symposium Internacional del Jamón Curado. Barcelona.
- Arnau, Guerrero y Sárraga. (1998). J. Sci. Food Agric. 77, 387-392.
- Arnau, J., Gou, P. y Comaposada, J. (2003). Meat Sci. 65, 1275-1280.
- Berman, N. C. (1976). 7th Technicon International Congress. New York;
- Kerese, I. (1984). Methods of protein analysis. Chichester: Ellis Howood Ltd.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J. Serra, X. y Gou, P. (2005a). Meat Sci. in press.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Arnau, J. y Gou, P. (2005b). Meat Sci. 69, 519-525.
- Sárraga, C., Gil, M., y García-Regueiro, J. A. (1993). J. Sci. Food and Agric. 62, 71-75; Toldrá, F. y Etherington, D. (1988). Meat Sci. 23, 1-7.

EFFECTO DEL ÍNDICE DE PROTEOLISIS SOBRE LA TEXTURA DEL JAMÓN CURADO

J. Ruiz-Ramírez, X. Serra, P. Gou, J. Arnau.

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Unitat de Tecnologia de
Processos. Centre de Tecnologia de la Carn. Granja Camps i Armet, E-17121
Monells, España. pere.gou@irta.es

**La presente comunicación ha sido aceptada para su presentación en el “III
Congreso Mundial del Jamón”, el cual se celebrará en Teruel-España (18-20 de
mayo de 2005)**

La actividad proteolítica en los productos cárnicos afecta a la textura final y depende, entre otros factores, del contenido de NaCl, de la temperatura y del pH (Arnau y col., 1992). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del índice de proteolisis sobre la relación entre el contenido de agua y la dureza en el interior de jamones curados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener diferentes grados de proteolisis se utilizaron 18 perniles con 2 niveles de pH (alto: de 6,2 hasta 6,8 y bajo: de 5,5 hasta 5,7) y tres niveles de NaCl añadido (2, 5 y 8%). El pH fue medido en el músculo *semimembranosus* (SM) a las 24 h *postmortem* (pH_{SM24}). Los jamones fueron procesados de forma tradicional durante 289 días hasta obtener una merma alrededor del 33%. Del músculo *biceps femoris* (BF) de cada jamón se obtuvieron 9 trozos de 4×2×2 cm. Sobre el resto del músculo se determinaron nitrógeno no proteico (NNP) (Kerese, 1984); nitrógeno total (NT) por el método Kjeldahl y cloruros (Berman, 1976). El índice de

proteolisis (IP) se calculó como la relación (NNP/NT)·100. Los trozos fueron secados a 3±2 °C hasta alcanzar niveles de secado desde 30,6% hasta 58,2% de humedad. Posteriormente fueron envasados individualmente en atmósfera de N₂ y almacenados a 2±1 °C por un período mínimo de 30 días, con el fin de equilibrar el contenido de agua en la muestra. Se realizó un perfil de textura instrumental (TPA) sobre paralelepípedos de 1×1×1 cm (50% de compresión y 1 mm/s de velocidad de cruceta). Se registró la dureza (kg) y la cohesividad. Posteriormente, se determinó el valor de X (expresado como kg de agua/kg de materia seca) (AOAC 1990). La relación entre dureza y X se ajustó a un modelo no lineal ($Y = a \cdot e^{b \cdot X + c \cdot IP + d \cdot IP \cdot X}$) mientras que la relación entre X y cohesividad se ajustó a un modelo cuadrático ($Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot IP + e \cdot IP \cdot X + f \cdot IP \cdot X^2$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se muestra la dureza y cohesividad estimada para el rango de X experimental. Los parámetros estimados del modelo, la desviación estándar residual (RMSE) y los

Tabla 1. Medias ($\pm$ D.E) del contenido de NaCl e IP en músculo BF de jamones curados.

<i>Y</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	R^2	RMSE
Dureza (kg)	42,297	-1,592	0,013	-0,047			0,86	1,75
Cohesividad	-0,205	1,349	-0,735	0,014	-0,033	0,021	0,59	0,03

a,b,c,d,e y f parámetros del modelo; R^2 coeficiente de determinación; RMSE desviación estándar residual.

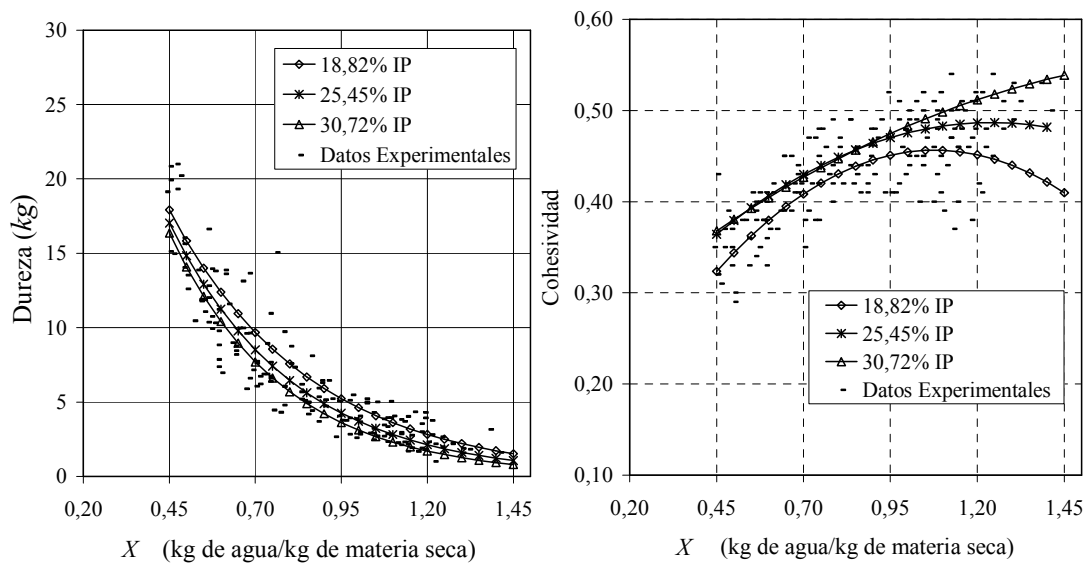


Figura 1. Relación entre la dureza y la cohesividad vs *X*, según el IP en jamones curados.

Tabla 2. Medias ($\pm$ D.E) del contenido de NaCl e IP en el músculo BF de jamones curados

Variables	pH_{SM}		Cantidad de NaCl añadida		
	Bajo	Alto	2%	5%	8%
<i>X</i>	1,6 $\pm$ 0,2	1,6 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,5 ^a	1,5 $\pm$ 0,1 ^b	1,5 $\pm$ 0,1 ^b
*NaCl	15,6 $\pm$ 5,3 ^b	16,6 $\pm$ 4,6 ^a	10,4 $\pm$ 0,6 ^c	17,9 $\pm$ 3,5 ^b	20,0 $\pm$ 1,7 ^a
IP	27,2 $\pm$ 4,2 ^a	23,3 $\pm$ 3,3 ^b	27,8 $\pm$ 2,8 ^a	24,6 $\pm$ 3,2 ^b	23,9 $\pm$ 3,4 ^b

Medias con distintos superíndices dentro de pH_{SM} o cantidad de NaCl añadida son significativamente diferentes $P < 0,05$; * Expresado como porcentaje en base seca.

coeficientes de determinación se muestran en la Tabla 1. La dureza disminuyó cuando el IP se incrementó, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Virgili y col. (1995). Un IP alto sobre la superficie del jamón curado podría ser útil para reducir el desarrollo de la costra. Sin embargo, debido a la baja cantidad de agua sobre la superficie, se espera que el IP superficial pueda ser más afectado por la actividad proteolítica de los microorganismos (Rodríguez y col., 1998) que por la actividad de las proteasas musculares. Para obtener una similar dureza, los jamones con alto IP necesitarán un menor contenido de agua y por tanto mayor secado.

La cohesividad disminuye cuando disminuye el IP, las diferencias en cohesividad por efecto del IP fueron más importantes a altos valores de X , que son las que existen en el interior del jamón curado durante el procesado. El IP fue afectado por el pH_{SM} , las muestras provenientes de jamones con pH bajo presentaron mayor IP que aquellas de jamones con pH alto, lo cual coincide con los resultados descritos por Ruiz-Ramírez y col. (2005) en músculo *semimem-*

branosus.

CONCLUSIÓN

Las muestras de jamones curados con mayor índice de proteolisis presentan menor dureza y menor cohesividad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto AGL2003-04612). Asimismo, se agradece al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Venezuela (FONACIT) punto de cuenta: 20002000330 por el cofinanciamiento de los estudios de Doctorado de J. Ruiz-Ramírez.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (1990). Ed, Arlington, Virginia-USA.
- Arnau, J., Guerrero, L., Maneja, E. y Gou, P. (1992). 38th ICoMST, 229-232.
- Berman, N. C. (1976). 7th Technicon International Congress. New York-USA.
- Kerese, I. (1984). Methods of protein analysis. Chichester: Ellis Howood

Ltd.

Rodríguez, M., Nuñez, F., Córdoba, J. Bermúdez, M. y Asensio, M. (1998), *J. App. Microb.* 85, 912.

Ruiz-Ramírez, J. Serra, X, Gou, P. y Arnau, J. (2005). III Congreso Mundial del Jamón, Teruel.

Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Bordini, C. y Bori, M. (1995). *J. Food Sci*, 60, 1183-1186.

ÍNDICE ALFABÉTICO

A

Adhesividad, 24, 32, 33, 38, 41, 43
Actividad de agua, 4, 5, 17, 26, 29, 30, 57, 73, 87, 149, 150
— análisis, 59, 62
Análisis físicoquímicos, 57, 59, 62, 67, 71
Análisis de perfil de textura, 38
— TPA, 36, 38, 39, 44, 57, 58, 62, 64, 67, 71, 73, 87, 103, 125
Atributos sensoriales, 3, 42

B

Biceps femoris, 5, 11, 24, 32, 33, 57, 58, 59, 64, 103, 125, 152, 154, 155, 161, 162, 163
Boca, sensaciones, 40, 41, 42

C

Calpaínas, 156, 159, 160
Catepsinas, 26, 156
Cohesividad, 5, 25, 33, 38, 39, 42, 58, 72, 73, 87, 103, 125, 150, 151, 152, 153, 154, 156, 158, 160, 161, 163, 164, 169

Contenido de agua, 4, 5, 25, 33, 34, 57, 58, 60, 66, 73, 87, 103, 125, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 161, 169
— análisis, 59, 62, 67, 68, 71
Curado, 15

D

Descriptores sensoriales, 41
Desmenuzabilidad, 23, 24, 41
Diseño experimental, 57, 63, 64
Dureza, 5, 23, 24, 26, 27, 30, 32, 33, 34, 38, 41, 44, 58, 71, 73, 87, 103, 125, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 159, 160, 161, 163, 164, 169

E

Efecto sobre la relación entre contenido de agua y los parámetros de textura,
— del índice proteolisis, 161
— de la cantidad de sal añadida, 156
— del tipo de músculo, 154
— del contenido de grasa, 161
— del pH_{SM24}, 154

Encostrado, 3, 4, 5, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 60, 61, 73, 87, 103, 125, 149, 151, 153, 169

Elasticidad, 5, 25, 33, 34, 36, 38, 39, 58, 72, 73, 87, 103, 125, 152, 153, 154, 156, 158, 160, 161, 163, 164, 169

Envasado, 19, 20, 21, 57, 58, 65, 66, 67, 69, 70

F

Fracturabilidad, definición, 39, 43

Factores que afectan a la textura del jamón curado, 23

— materia prima, 23

— — origen genético, 23

— — grasa intramuscular, 24

— — pH, 24

— — potencial proteolítico, 25

— — condición sexual, 26

— proceso tecnológico, 27

— — temperatura y humedad, 27

— — contenido de agua, 29

— — actividad de agua, 29

— — sal añadida, 29

— — tiempo de proceso, 33

Fibrosidad, 34, 41

G

Gomosidad, 39, 41, 43

Grasa intramuscular, 19, 24, 30, 35, 58, 59, 161, 162, 163,

— análisis, 60, 63, 68, 71

H

Humedad relativa, 27, 28, 29, 30, 58, 60, 61, 65, 66, 69, 70

— en el período de reposo, 17

— en el período de salado, 17

— en los secaderos, 18

I

Índice de proteolisis, 26, 68, 71, 153, 161, 163, 169

Interacciones hidrófobas, 149

Interacciones proteína-proteína, 151

J

Jamón curado, definición, 11

— factores que afectan su textura, 3, 23

— estructura y composición, 11

— tipos, 12

— proceso de fabricación, 12, 68

Jugosidad, 23, 41

K

Kjeldahl, método, 60

L

Lomo curado, 57, 87, 150, 151, 152, 153, 169

— Perfiles de textura, 87

M

Materia prima, 3, 5, 13, 22, 23, 25, 35

Masticabilidad, 5, 39, 43, 59, 73, 87, 150, 169

Músculos curados, 5, 65, 71, 103, 150, 151, 152, 153, 156, 159, 161, 169

Métodos empíricos, 36

Métodos fisiológicos, 40

Métodos fundamentales, 36, 43

Métodos imitativos, 36

Métodos instrumentales, 36

Métodos químicos y microscópicos, 37
Métodos sensoriales, 40
Métodos ultrasónicos, 40

N

NaCl, 4, 5, 15, 23, 26, 31, 32, 33, 57, 59, 60, 63, 65, 69, 71, 73, 103, 125, 151, 153, 156, 159, 160, 161, 162, 169
Nitrógeno no proteico, 4, 5, 12, 26
— análisis, 68, 71
Nitrógeno total, 4, 26, 57, 162
— análisis, 63, 68, 71

O

Origen genético, 23

P

Pastosidad, 22, 23, 32, 33, 41, 161
pH, 4, 5, 14, 24, 25, 26, 33, 35, 37, 57, 64, 65, 66, 68, 71, 103, 125, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 169
— análisis, 59, 63, 68
Potencial proteolítico, 3, 14, 25, 28, 35
Procesado, 14, 20, 22, 27, 28, 33, 34, 35, 42, 65, 69, 70, 71
Proteína, 12, 13, 22, 23, 24, 25, 29, 32, 33, 63, 149, 151, 156, 162
Proteolisis, 17, 18, 19, 22, 26, 28, 32, 34, 36, 68, 71, 152, 153, 161, 163, 164
Punto isoelectrico, 156

R

Relación de la actividad de agua con los parámetros de textura, 149

Relación del contenido de agua con los parámetros de textura, 149
Reposo, 13, 17, 18, 32, 35, 57, 69, 70

S

Salado, 5, 13, 15, 17, 22, 27, 28, 31, 32, 35, 62, 65, 66, 165
— en pila, 15
— usos de bombos, 16
Secadero, 66
Semimembranosus, 5, 11, 14, 33, 63, 64, 65, 66, 70, 71, 103, 125, 150, 151, 152, 154, 155, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 169

T

Temperatura, 3, 13, 15, 26, 27, 28, 29, 30, 36, 40, 59, 60, 61, 62, 66, 70
— en el salado, 15, 16, 69
— en el reposo, 17, 69
— en los secaderos, 18, 19, 70
Textura, 3, 4, 5, 14, 19, 21, 22, 34, 37, 40, 42, 43, 71, 149, 153
— definición, 21
— en jamón curado, 4, 5, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 39, 41, 57, 58, 70, 73, 125, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 156, 161, 163, 164
— en lomo curado, 62, 87, 150, 151, 151, 152, 154, 155, 156
— en músculo curado, 67, 103, 150, 147, 148, 150, 151
— mediciones, 36, 37, 38, 40, 58, 62, 67, 70
— pastosa, 3, 25, 26, 32, 35, 36
— texturómetro, 59, 67

U

Unidades, 38, 39

V

Velocidad de aire, 63, 66

Velocidad ultrasónica, 40

W

Warner-Bratzler, 44