



Universitat de Girona

MODIFICACIONES EN LA DINÁMICA DE PROCESADO Y EN LAS CARACTERÍSTICAS FINALES DE PRODUCTOS CARNIS AMB CONTINGUT REDUÏT DE SODI

Anna COSTA CORREDOR

Dipòsit legal: GI-990-2011

<http://hdl.handle.net/10803/32066>

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei [TDX](#) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio [TDR](#) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the [TDX](#) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



UdG

Universitat de Girona

IRTA
RECERCA I TECNOLOGIA
AGROALIMENTÀRIES



Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries

TESI DOCTORAL

MODIFICACIONS EN LA **D**INÀMICA
DE **P**ROCESSAT I EN LES
CARACTERÍSTIQUES **F**INALS DE
PRODUCTES **C**ARNIS AMB
CONTINGUT **R**EDUÏT DE **S**ODI

Anna Costa Corredor
2010



UdG

Universitat de Girona
Institut de Tecnologia Agroalimentària (INTEA)



Institut de Recerca i
Tecnologia Agroalimentàries
Dept. Tecnologia dels Aliments
Unitat d'Enginyeria i Processat dels Aliments

TESI DOCTORAL

MODIFICACIONS EN LA **D**INÀMICA DE **P**ROCESSAT I EN LES **C**ARACTERÍSTIQUES **F**INALS DE **P**RODUCTES **C**ARNIS AMB **C**ONTINGUT **R**EDUÏT DE **S**ODI

Anna Costa Corredor
2010

Memòria presentada per Anna Costa Corredor, inscrita en el Programa de Doctorat de Ciències Experimentals i de la Salut, Itinerari de Biotecnologia, per a optar al grau de Doctora per la Universitat de Girona

Dr. PERE GOU I BOTÓ, professor associat a l'Institut de Tecnologia Alimentària (INTEA) de l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona i investigador adscrit a la Unitat d'Enginyeria i Processat d'Aliments del Departament IRTA – Tecnologia dels Aliments, ubicat a Monells (Girona),

CERTIFICA

Que la present memòria, titulada “**Modificacions en la dinàmica de processat i en les característiques finals de productes carnis amb contingut reduït de sodi**”, ha estat realitzada sota la seva direcció i que reuneix les condicions requerides perquè la Llicenciada en Ciència i Tecnologia dels Aliments, Llicenciada en Biologia i Diplomada en Nutrició Humana i Dietètica ANNA COSTA I CORREDOR pugui optar al grau de Doctora en Ciència i Tecnologia dels Aliments.

I, perquè consti als efectes oportuns, firma la present certificació,

Dr. Pere Gou i Botó
Monells, juliol 2010

*Per a obrir nous camins,
cal inventar,
experimentar,
crèixer,
córrer riscs,
trencar les regles,
equivocar-se i...
divertir-se.*

Mary Lou Cook

AGRAÏMENTS

Voldria agrair...

... a en Pere, la seva inestimable ajuda i orientació al llarg d'aquests anys; sempre al moment, quan l'he requerida. Mestre del disseny experimental, mestre d'estudiar causes, efectes i interaccions, mestre d'extraure les conclusions tal com són, mestre de realitzar les coses ben fetes i de la manera més encertada. Ell m'ha ensenyat a gaudir la recerca en tecnologia dels aliments, i a convertir-la en la meva passió.

... a en Cinto, per la seva gran qualitat com a persona, per tenir una cura constant del benestar de les persones i del saber fer les feines ben fetes de tota la Unitat d'Enginyeria i Processat dels Aliments. Sempre apostant per la qualitat i la millora, tant professional com personal.

... al Dr. Josep Maria Monfort, primer professor, després director del Centre de Tecnologia dels Aliments de Monells, i actualment Director General de l'IRTA, per permetre'm iniciar en aquest apassionant món de la tecnologia dels productes carnis.

... a tots/es els/les doctorands amb els quals he tingut el plaer de compartir espai, recursos, vivències i... ¡tants moments inoblidables! I el meu sincer desig de continuar compartint la vostra amistat.

... en especial a tots els investigadors i tècnics de la Unitat d'Enginyeria i Processat dels Aliments, i també del Departament de Tecnologia dels Aliments de Monells i del CeNTA, "col·legues" en la tasca diària, companys de somriures en els moments de descans, a mig matí i al dinar... Us agraeixo a tots el vostre recolzament durant aquests anys.

... a en Miquel, el meu infatigable company de vida, gràcies per a regalar-me il·lusions, per ajudar-me a fer realitat els meus somnis, per regalar-me la teva companyia, amor i compartir la teva vida amb mi dia a dia.

... a tota la meva família: al meu pare Josep, al meu germà Quim, a la meva àvia Maria. I a la meva nova família, que m'ha adoptat fa ara 10 anys, que m'ha aollit com una filla (per la Marisa i en José Antonio) i com a una germana (per vosaltres Maria, Teté, Pablo, Alejandro i Ana), demostrant-me la vostra estimació en tot moment.

... a la meva mare Maria Rosa, el resultat d'aquest esforç te'l dedico especialment a tu. Sé que estàs bé i tranquil·la, estiguis on estiguis... I et prenc les teves paraules, durant els teus últims instants d'alè, de que estàs molt orgullosa de mi... perquè ho puguis estar encara més. Aquest treball és una primera culminació no només dels meus esforços durant aquests últims anys, sinó l'inici de moltes coses més. I t'ho he d'agrair a tu, per donar-me la vida, per donar-me tot el que estava a les teves mans, per permetre'm, no només ser la teva filla sinó una amiga i permetre'm compartir sentiments i confidències en els teus últims instants. Ets el meu estendard de fortalesa.

... a l'espurna de vida que va creixent poc a poc a dins meu... Tinc ganes d'abraçar-te, de gaudir-te, de compartir els meus millors moments amb tu d'aquí a pocs mesos i fer-te molt feliç.

I would like to thanks...

... Prof. Zdzislaw Pakowski, not only for his kindness and invaluable help to develop part of my doctorate task in the Faculty of Process and Environmental Engineering of the Technical University of Lodz (Poland) for 4 months. Also thanks for allowing me to share nice and happy morning breaks with tasty Polish cakes and tea.

... Tomek Lenczewski, I am grateful to share busy and enjoyable moments in the lab, searching the great solution to our diffusional model.

... Agneska, my dormitory friend, to let me sharing confidences and wonderful moments, for feeding my stage with nice moments. My best wishes for you. I hope and expect a full happy life with Romek and the little Radek, as well as your mum and dad.

... Dr. Roger Parker, not only giving me the opportunity to work in an exciting area of the biochemistry and nutrition knowledge at the Institute of Food Research of Norwich (East Anglia) for 6 months, also for your kindness and daily help.

... Amelia, Jae, Dr. Sun and their daughters, Marta, Dorothea, Ana, Julia, Timothy, Natalia, Claudia, Thomas, Dave, Anthony and a never-ending list of friends who have shared funny lunches, lab tasks and moments with me.

La Tesi Doctoral ha estat realitzada a la Unitat d'Enginyeria i Processat dels Aliments de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, al Departament IRTA - Tecnologia dels Aliments, de Monells (Girona).

El conjunt de treballs realitzats han estat possibles gràcies al finançament, per part de la Comissió Europea, dels següents projectes integrats dins el 6è. Programa Marc:

- **TRUEFOOD** (FOOD-CT-2006-016264): Traditional United Europe Food,
- **Q-PORKCHAINS** (FOOD-CT-2007-036245): Improving the quality of pork and pork products by covering the consumer demands,

i mercès als Ajuts Predoctorals per a la Formació de Personal Investigador (**FI 2006**) i per a realitzar Estades de Recerca fora de Catalunya (**BE-DGR 2009**), concedits per l'Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) de la Generalitat de Catalunya.

ÍNDEX DE CONTINGUTS

Resum	X
Paraules Claus	XVI
<u>Capítol 1. Justificació i Interès del treball</u>	1
1.1. <i>Sal, sodi i malalties cròniques</i>	2
1.2. <i>Sal i dieta</i>	3
1.3. <i>Plantejament d'estratègies per a reduir la ingesta de sodi</i>	6
Referències	7
<u>Capítol 2. Introducció i objectius</u>	9
2.1. <i>La sal en els productes carnis</i>	10
2.1.1. La presència de la sal en productes carnis	10
2.1.2. Les funcionalitats de la sal en els productes carnis	11
2.1.2.1. Increment de l'estabilitat microbiològica de matrius alimentàries	12
2.1.2.2. Funcionalitat tecnològica de la sal a les matrius càrnies	15
2.1.2.3. Acció organolèptica	19
2.2. <i>Adició de sal i fenòmens de transferència de massa durant el processat de productes carnis</i>	23
2.2.1. Adició de sal i transferència de massa en productes carnis de peça entera	23
2.2.1.1. El salatge de peces de pernil	23
2.2.1.2. Formació de la salmorra i captació de sal durant el salatge	26
2.2.1.3. Difusió de sal i aigua a l'interior de la peça de pernil	30
2.2.2. El curat de productes carnis picats i fenòmens de transferència de massa	36
2.2.2.1. El processat de productes carnis picats crus-curats	36
2.2.2.2. Difusió de sal i aigua a una llonganissa	37
2.3. <i>Aproximació matemàtica del procés difusiu de la sal i l'aigua a una matriu càrnia</i>	39
2.3.1. Les Lleis de Fick de la difusió	40
2.3.2. Aplicació de l'equació de Stefan-Maxwell en processos difusius	44

2.4. Reducció del contingut de sodi a productes carnis i efectes sobre el seu processat	46
2.4.1. Disminució de la quantitat de sal addicionada a una matriu càrnia	47
2.4.1.1. Selecció de la matèria primera	48
2.4.1.2. Modificació de les operacions de processat	49
2.4.1.3. Canvis en la formulació del producte	49
2.4.2. Substitució total o parcial de NaCl amb altres sals	49
2.4.2.1. Sals inorgàniques no sòdiques	50
2.4.2.2. Sals orgàniques sòdiques	54
2.4.3. Utilització de potenciadors del gust salat	57
Referències	57
Capítol 3. Objectius	72
4.1. Objectiu general	73
4.2. Objectius específics	73
Capítol 4. Material i Mètodes	74
4.1. Selecció de la matèria primera	75
4.2. Pretractament de les mostres experimentals	78
4.3. Processat de les mostres	80
4.3.1. Salatge	80
4.3.2. Repòs i assecatge	81
4.4. Determinacions físico-químiques	81
4.4.1. Contingut de greix	81
4.4.2. Contingut d'aigua	81
4.4.3. Contingut de clorur	82
4.4.4. Contingut de L-lactat	83
4.4.5. Contingut de sodi i potassi	83
4.4.6. Determinació de l'activitat d'aigua	84
4.5. Determinacions microbiològiques	85
4.6. Modelització dels processos difusius a una matriu càrnia	85
Referències	87

<u>Capítol 5. Resultats</u>	88
<i>Apartat 1.</i> Influència de la reducció de NaCl i la seva substitució parcial per K-lactat sobre l'absorció de NaCl a través d'una matriu càrnia	89
<i>Apartat 2.</i> Aproximació matemàtica de la difusió simultània d'aigua i sal a través d'un model carni durant l'etapa d'assecatge	108
<i>Apartat 3.</i> Efecte de l'aplicació de lactat potàssic com a substitut de NaCl sobre les isoterms de desorció de carn picada de porc	127
<i>Apartat 4.</i> Caracterització físicoquímica i avaluació sensorial de pernills curats amb reducció del contingut de sal i/o addició de lactat potàssic	142
<u>Capítol 6. Discussió general</u>	166
6.1. Disminució de la quantitat de sal adicionada	167
6.1.1. Aspectes relatius a la selecció de la matèria primera	167
6.1.2. Modificació de les operacions de processat	168
6.1.3. Aspectes sensorials del producte final	171
6.2. Addició de lactat potàssic	171
6.2.1. Efectes relacionats amb l'absorció dels ions salins	172
6.2.2. Aspectes relacionats amb el procés d'assecatge	173
6.2.3. Efectes sobre l'estabilitat microbiològica del producte final	174
6.2.4. Efectes sobre aspectes bioquímics i sensorials del producte acabat	175
<i>Referències</i>	175
<u>Capítol 7. Conclusions</u>	179
7.1. Referents a la captació de sals	180
7.2. Referents a la distribució de sals a través de la matriu càrnia	180
7.3. Referents a l'assecatge de productes carnis	180
7.4. Referents a la qualitat dels productes carnis	181
7.5. Proposta de futures recerques	181
<u>Capítol 8. Annex</u>	183

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1.1.1. Predicció de la reducció de les morts per malaltia cerebrovascular i cardiovascular amb la reducció de la ingesta de sal a nivell d'Europa	2
Taula 1.2.1. Quantitat de sodi aportada per alguns additius alimentaris en comparació amb la quantitat de sodi aportada pel NaCl	4
Taula 1.2.2. Productes carnis com a principal font alimentària de sodi a la dieta de la població espanyola	5
Taula 2.1.1. Contingut en minerals característics de la carn fresca de porc i dels productes carnis crus-curats elaborats amb carn de porc	11
Taula 2.1.2. Relació entre valors d'activitat d'aigua a 25 °C i concentracions de solucions de sal	14
Taula 2.1.3. Relació d'interval d'activitat d'aigua i existència de proliferació de microorganismes a diferents matrius alimentàries	14
Taula 2.3.1. Valors de D_{NaCl} en matriu càrnia de porc i vedella, obtinguts per diversos autors	43
Taula 2.3.2. Valors de D_{aigua} en matrius càrnies sotmeses a un procés d'assecatge, obtinguts per diversos autors	44
Taula 5.1.1. Ionic concentration of each salting solution (Cs) used for developing the experimental designs I and II	92
Taula 5.1.2. Distribution of the cylindrical samples from <i>semimembranosus</i> (SM) and <i>biceps femoris</i> (BF) muscles of green hams according to the salting brine treatment and the post-salting time and temperature they were subjected for developing the experimental design II	95
Taula 5.1.3. Mean uptake (M) and molar uptake (nM) after 4 days of salting process by ion type within each salting brine treatment (SS, LS or SLS)	99

Taula 5.1.4. Effective diffusivity coefficient (D) for the post-salting period least square means by ion type during post-salting temperature and muscle type	103
Taula 5.3.1. GAB equation parameters for mixture components (meat, NaCl and K-Lactate) at 5 °C and 25 °C	136
Taula 5.3.2. Model fitness (R^2 and RMSE) of models 1 and 2 for different mixtures at 5 °C and 25 °C	136
Taula 5.4.1. Experimental design: distribution of the ham pairs (p1-p18) according to salting treatment, post-resting temperature and drying level	147
Taula 5.4.2. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the overall processing time and on the physicochemical parameters of the <i>biceps femoris</i> muscle of restructured dry-cured hams.....	151
Taula 5.4.3. Overall processing time and non-protein nitrogen content and proteolysis index of the biceps femoris muscle of restructured dry-cured hams according to the interaction post-resting temperature by drying level	152
Taula 5.4.4. NaCl content (% on a dry-matter basis) of the <i>biceps femoris</i> muscle of restructured dry-cured hams according to the interaction salting treatment by drying level	152
Taula 5.4.5. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the instrumental colour parameters and visual attributes of the <i>biceps femoris</i> muscle of restructured dry-cured hams	155
Taula 5.4.6. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the instrumental texture parameters (Stress Relaxation test) and the sensory texture attributes of biceps femoris muscle of restructured dry-cured hams	158
Taula 5.4.7. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the flavour attributes of biceps femoris muscles of restructured dry-cured hams	160

[VI]

Taula 5.4.8. Recompte de bacteris indicadors en pernils curats reestructurats, processats a 5 i 15 °C	165
Taula 8.1. Predicció de la reducció de les morts per malaltia cerebrovascular i cardiovascular amb la reducció de la ingesta de sal en Europa	187
Taula 8.2. Rangos de ingesta orientativa per a la població	188
Taula 8.3. Principals fonts alimentàries de sodi en la dieta de la població espanyola	189
Taula 8.4. Quantitat de sodi aportada per alguns aditius alimentaris, en comparació amb la quantitat de sodi aportada per el NaCl	191
Taula 8.5. Perfil nutricional de productes carnis crus-curats i cocidos	192

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1.2.1. Representació de les fonts de sodi/sal a la dieta	5
Figura 2.2.1. Diagrama de flux del processat del pernil curat	25
Figura 2.2.2. Representació del sistema carn—salmorra—cristalls de sal, característica del procés de salatge per via seca	27
Figura 2.2.3. Isotermes d'adsorció i de desorció d'un aliment típic	35
Figura 2.2.4. Diagrama de flux del processat de les llonganisses	37
Figura 2.3.1. Perfil de concentracions utilitzat per a il·lustrar la Segona Llei de Fick	41
Figura 4.1.1. Localització del pernil, a la canal de porc. Músculs localitzats a la cara externa del pernil	76
Figura 4.1.2. Localització del pernil, a la canal de porc. Músculs localitzats a la part interna del pernil	77
Figura 4.1.3. Tall mig transversal del pernil	77
Figura 4.1.4. Peces de pernil	78
Figura 4.1.5. Separació del múscul Semimembranosus d'una peça de pernil de la massa muscular restant	79
Figura 5.1.1. Sample support structure for developing the salting process	93
Figura 5.1.2. Mean ionic uptake after 4 days of salting (M) versus meat pH in the SLS brine solution	101
Figura 5.1.3. The exponential form fitted to the initial ion profile, the final experimental ionic contents and the final simulated ion profile in a <i>biceps femoris</i> muscle salted in SLS brine solution and rested for 15 days at 12 °C	102
Figura 5.2.1. Schematic of the sample collection process	112

Figura 5.2.2. Functions $\ln(\gamma_i)/dx_j$ for water and salt at 12 °C	117
Figura 5.2.3. Sorption isotherms for salted meat at 12 °C - salt content 0.0917 kg/kg	117
Figura 5.2.4. Experimental data of linear shrinkage as a function of averaged moisture content $R = (X_w)$	119
Figura 5.2.5. Experimental (points) and computed (lines) salt content profiles in 3D and 2D	121
Figura 5.2.6. Experimental (points) and computed (lines) water content profiles in 3D and 2D	121
Figura 5.2.7. Dependence of identified Stefan-Maxwell diffusivities on water content at 12 °C	122
Figura 5.3.1. Equilibrium water content (X , kg H ₂ O/kg dm) vs. water activity at 25 °C for ground muscle salted with NaCl using COST 90 method and vacuum drying	132
Figura 5.3.2. Equilibrium water content (X , kg H ₂ O/kg dm) vs. water activity at 5 °C and 25 °C for ground muscle salted with NaCl, NaCl+K-lactate or K-lactate	135
Figura 5.3.3. Equilibrium water content (X , kg H ₂ O/kg dm) vs. water activity at 5 °C and 25 °C for ground muscle salted with NaCl, NaCl+K-lactate or K-lactate in a water activity range between 0.5 and 0.75	135
Figura 5.3.4. Equilibrium water content (X , kg H ₂ O/kg dm) vs. water activity at 5 °C and 25 °C for ground muscle salted with NaCl, NaCl+K-lactate or K-lactate in a water activity range between 0.5 and 0.75	138
Figura 5.3.5. Experimental data and calculated sorption isotherms for mixtures at 5 °C in a water activity range between 0.5 and 0.75 (models 1 and 2) for meat + NaCl, meat + NaCl + K-lactate and meat + K-lactate	138

Figura 5.4.1. Relationship between adhesiveness intensity and the final pH of the *biceps femoris* muscle of restructured dry-cured hams according to the drying level 157

Figura 8.1. Recomendaciones dietéticas de la Organización Mundial de la Salud 186

RESUM

Al llarg dels darrers anys, diversos estudis clínics han evidenciat l'existència d'una correlació significativa entre el consum de sal/sodi i la pressió sanguínia arterial. El sodi està present, de forma natural, als aliments; i també és aportat a la dieta addicionant-lo en la producció industrial d'aliments transformats i a la llar, durant la cocció i al moment del seu consum. Per a reduir el risc de mortalitat deguda a malalties cardio- i cerebrovasculars, diversos governs de països membres de la UE i l'Organització Mundial de la Salut recomanen reduir el consum de NaCl a 5 grams diaris. A tal fi s'han iniciat diverses actuacions nacionals, que impliquen a la indústria alimentària i al sector de la restauració, per a reduir el contingut de sal/sodi dels aliments.

El NaCl, per les seves funcionalitats, és un ingredient essencial en el processat de productes carnis. Donat que una reducció de la quantitat de sal afegida provoca una disminució de la seva qualitat, atenent a aspectes organolèptics, d'acceptació i de seguretat del producte, s'han proposat diferents estratègies que permeten obtenir productes amb contingut reduït de NaCl d'una qualitat similar als seus homòlegs amb un contingut estàndard. Una d'aquestes estratègies és la reducció

de la sal afegida i l'addició de lactat potàssic. Hi ha estudis en diferents productes carnis on s'ha mostrat que l'addició de lactat potàssic modifica algunes de les característiques sensorials del producte final. No obstant, aquests productes han estat elaborats amb el procés que tradicionalment s'utilitza per productes amb un contingut estàndard de sal. L'addició de K-lactat probablement també modifica l'evolució del producte durant el processat. Malgrat això, no hi ha estudis que mostrin com es veuen afectats els diferents paràmetres del procés (cinètiques de salatge i assecatge, índex proteolític, etc.) per l'addició de lactat potàssic. El coneixement d'aquests efectes facilitaria l'optimització del procés.

A tal fi, s'han dut a terme quatre estudis. Al primer s'ha estudiat l'efecte de la presència de K-lactat sobre la captació d'ions durant el procés de salatge, en músculs de pernil amb diferents valors de pH. També s'han estudiat les difusivitats dels ions a través de la matriu càrnia, a temperatures de 2 i 12 °C, després del procés de salatge.

Al segon estudi s'ha determinat la distribució dels continguts d'aigua i sal, a un model carni picat cru-curat i, així mateix, la relació existent entre la difusivitat d'aquests dos components i el

contingut local d'aigua, durant el procés d'assecatge. S'ha modelitzat la transferència de massa fent ús de balanços de massa i de l'equació de Stefan-Maxwell.

Al tercer estudi s'ha estudiat l'efecte de l'addició de K-lactat sobre les isoterms de desorció de carn picada, a 5 i 25 °C.

En l'últim estudi s'ha avaluat l'efecte d'alguns paràmetres del procés (temperatura i període d'assecatge) sobre les característiques físico-químiques i atributs sensorials de pernils reestructurats, salats amb diferents quantitats de NaCl i K-lactat.

La presència de K-lactat, addicionat fins a un 30% de substitució molar de la quantitat de NaCl estàndard (30 g/kg), no ha afectat ni l'absorció, ni la distribució de l'ió clorur en productes carnis crus-curats. Així mateix, la seva presència a la formulació de sals ha disminuït el valor d'activitat d'aigua al qual té lloc una nul·la o poca absorció d'aigua, reduint el risc de cristallització de la sal, en cas que s'assoleixin humitats relatives inferiors al 75% a les cambres de salatge i

post-salatge. En pernils amb un contingut de NaCl reduït al 50%, la seva addició ha accelerat la transferència de massa interna i externa. Pot disminuir el risc d'encrostat superficial, pel fet que la seva addició ha incrementat el contingut d'aigua present a la superfície de la peça càrnia; i també pot disminuir l'índex proteolític, reduint el risc d'aparició de textures anòmales en productes carnis crus-curats. S'ha confirmat el seu efecte bacteriostàtic, en pernils reestructurats assecats a temperatures ≤ 15 °C. I, en relació a les característiques organolèptiques, l'addició de K-lactat en la quantitat de 19,7 g/kg, en productes carnis amb un contingut de NaCl reduït al 50%, no ha modificat significativament els atributs visuals ni el gust salat.

En general es pot concloure que, en productes carnis crus-curats amb un contingut reduït de sal, l'addició de K-lactat fins a 19,7 g per kg de producte redueix el temps requerit per a obtenir el producte final i, també, el risc d'aparició de textures anòmales; incrementa la seguretat del producte acabat i no modifica els atributs visuals.

RESUMEN

A lo largo de estos últimos años, distintos estudios clínicos han evidenciado la existencia de una correlación significativa entre el consumo de sal/sodio y la presión sanguínea arterial. El sodio está presente, de forma natural, en los alimentos; y también es aportado a la dieta adicionándolo en la producción industrial de alimentos transformados y en el hogar, durante la preparación y el consumo de alimentos. Para reducir el riesgo de mortalidad debida a enfermedades cardio- y cerebrovasculares, distintos gobiernos de países miembros de la UE y la Organización Mundial de la Salud recomiendan reducir el consumo de NaCl a 5 gramos diarios. A tal fin se han iniciado diferentes actuaciones nacionales, que implican a la industria alimentaria y al sector de la restauración, para reducir el contenido de sal/sodio de los alimentos.

El NaCl, por sus funcionalidades, es un ingrediente esencial en el procesado de productos cárnicos. Dado que una reducción de la cantidad de sal añadida provoca una disminución de su calidad, atendiendo a aspectos organolépticos, de aceptación y de seguridad del producto, se han propuesto diferentes

estrategias que permiten obtener productos con un contenido reducido de NaCl de una calidad similar a sus homólogos con un contenido estándar. Una de estas estrategias es la reducción de la sal añadida y la adición de lactato potásico. Estudios realizados en diferentes productos cárnicos han mostrado que la adición de lactato potásico modifica algunas de las características sensoriales del producto final. No obstante, estos productos han sido elaborados siguiendo el mismo proceso tradicional que el de productos con un contenido estándar de sal. La adición de K-lactato probablemente también modifica la evolución del producto durante el procesado. Sin embargo, no existen estudios que muestren como se ven afectados los diferentes parámetros de proceso (cinéticas de salado y secado, índice proteolítico, etc.) por la adición de lactato potásico. El conocimiento de estos efectos posibilitaría la optimización del proceso.

A tal fin, se han llevado a cabo cuatro estudios. En el primero se ha estudiado el efecto de la presencia de K-lactato sobre la captación de iones durante el proceso de salado, en músculos de jamón con diferentes valores de pH. También se han estudiado

las difusividades de los iones a través de la matriz cárnica, a temperaturas de 2 y 12 °C, después del proceso de salado.

En el segundo estudio se ha determinado la distribución de los contenidos de agua y sal, en un modelo cárnico picado crudo curado, así como la relación existente entre la difusividad de estos dos componentes y el contenido local de agua, durante el proceso de secado. Se ha modelizado la transferencia de masa haciendo uso de los balances de masa y de la ecuación de Stefan-Maxwell.

En el tercer estudio se ha estudiado el efecto de la adición de K-lactato sobre las isotermas de desorción de carne picada, a 5 y 25 °C.

En el último estudio se ha evaluado el efecto de algunos parámetros del proceso (temperatura y periodo de secado) sobre las características fisicoquímicas y atributos sensoriales de jamones curados reestructurados, salados con distintas cantidades de NaCl y K-lactato.

La presencia de K-lactato, adicionado hasta un 30% de sustitución molar de la cantidad de NaCl estándar (30 g/kg), no ha afectado ni la absorción, ni la distribución del ión cloruro en productos cárnicos crudos curados. Así mismo, su presencia en la formulación de sales ha disminuido el valor de actividad de agua al cual se da una nula o poca absorción de agua,

reduciendo el riesgo de cristalización de la sal en caso que se alcancen humedades relativas inferiores al 75% en las cámaras de salado y reposo. En jamones con un contenido de NaCl reducido al 50%, su adición ha acelerado la transferencia de masa interna y externa. Puede disminuir el riesgo de encrostado superficial, por el hecho que su adición ha incrementado el contenido de agua presente en la superficie de la pieza cárnica; y también puede disminuir el índice proteolítico, reduciendo el riesgo de aparición de texturas anómalas en productos cárnicos crudos curados. Se ha confirmado su efecto bacteriostático, en jamones reestructurados secados a temperaturas ≤ 15 °C. Y, en relación con las características organolépticas, la adición de K-lactato en la cantidad de 19,7 g/kg, en productos cárnicos con un contenido de NaCl reducido al 50%, no ha modificado significativamente los atributos visuales ni el gusto salado.

En general se puede concluir que, en productos cárnicos crudos curados con un contenido reducido de sal, la adición de K-lactato hasta 19,7 g por kg de producto reduce el tiempo necesario para obtener el producto final y, también, el riesgo de aparición de texturas anómalas; incrementa la seguridad del producto acabado y no modifica los atributos visuales.

ABSTRACT

In recent years, several studies have linked sodium intake to hypertension. Sodium is naturally present in food, however it is also provided by processed food, as well as food which is prepared and eaten at home or in restaurants.

To reduce the mortality risk due to cardiovascular and cerebrovascular diseases, several UE member states and the World Health Organization recommend reducing the NaCl intake level to a maximum of 5 g per day. Consequently, several national initiatives have been developed, involving the food industry and the catering trade, to contribute towards the salt reduction in food.

Taking into account its functionalities, NaCl is a useful ingredient for meat product processing. Taking into consideration that a reduction of added salt provokes a decrease in the quality of meat products, regarding sensory acceptance and safety issues, several technological strategies have been proposed for obtaining salt reduced meat products with a similar quality to those with a standard NaCl content. One of these strategies is the reduction of the amount of added salt and the addition of K-lactate. In previous studies related to dry-cured meat products, an addition of K-lactate has

modified some sensory attributes of the processed product. However, these products have been produced by applying the traditional processing usually used in products with a standard salt content. The addition of K-lactate could modify the product evolution during its processing. However, no studies showing how processing parameters (salting and drying kinetics, proteolytic index, etc.) can be affected by the addition of K-lactate, have been found. The knowledge of these effects could make the optimization of the process easier.

Therefore, four experimental studies were performed. In the first study, the effects of K-lactate presence on the salt uptake during the salting stage, and on the ionic diffusivities, at 2 and 12 °C, during the resting process, were studied in ham muscles with different pH values. The ionic diffusivities through the meat matrix were also studied in the post-salting stage, at 2 °C and 12 °C.

In the second one, the water and salt content distribution, as well as the relationship between the diffusivities of these two components and the water content during the overall drying process of a dry-cured were determined in a minced product model. Models for mass transfer were developed by using the

mass balances and the Stefan-Maxwell equation.

In the third study, the effect of the K-lactate addition on the desorption isotherms of minced meat, at 5 and 25 °C, were studied.

In the last one, the effects of some processing parameters (drying temperature and period) on the physico-chemical characteristics and sensory attributes were tested in restructured dry-cured hams, salted with different amounts of NaCl and K-lactate.

The K-lactate presence, added until a 30% molar substitution (taking into account the NaCl standard amount (30 g/kg)), did not affect either the salt uptake or the chloride ion transport through the meat matrix. In addition, its presence in the salting formulation decreased the water activity value that corresponds to little or null water absorption. This reduces the risk of salt crystallization when relative humidities are lower than 75% in the salting and

resting chambers. In dry-cured hams with half the standard amount of salt, its addition accelerated the internal and the external mass transfers. The K-lactate addition can increase the water content on the surface, reducing the risk of excessive hardening. It can also reduce the proteolytic index, diminishing the risk of anomalous texture attributes in dry-cured meat products. Its bacteriostatic effect was stated in restructured dry-cured hams dried at temperatures ≤ 15 °C. Related to the sensory characteristics, the addition in the amount of 19.7 g/kg, in products with a 50% reduced salt content, did not significantly modify the visual attributes or the salted flavour.

In general, it could be concluded that the K-lactate addition (until 19.7 g per kg of product) to dry-cured meat products with a reduced salt content, reduces the processing period, as well as the anomalous texture risk; it increases the product safety and it does not modify the visual attributes.

PARAULES CLAU

Sal; clorur sòdic; lactat potàssic; productes carnis; pernil curat; llonganissa; salatge; post-salatge; assecatge; processat; reducció de sal; isoterms de sorció; difusivitat; transferència de massa; Lleis de Fick; equació de Stefan-Maxwell

CAPÍTOL 1: JUSTIFICACIÓ DEL TREBALL



LA REDUCCIÓ DEL CONTINGUT DE SAL ALS ALIMENTS.**UNA NECESSITAT I UN REPTE****1.1. Sal, sodi i malalties cròniques**

La ingesta de sodi està justificada pel fet que és el principal catió del nostre fluid extracel·lular. També és el responsable de múltiples funcions fisiològiques relacionades amb el manteniment de la homeòstasi i el potencial de membrana de les cèl·lules. S'estimen uns requeriments fisiològics de sodi entre 80 i 100 mmol/dia (equivalents a 1,84-2,30 g diaris) per a adults sans (IOM, 2004; WHO/FAO, 2005). Aquestes necessitats fisiològiques corresponen a una ingesta diària de sal de gairebé 6 grams per a una població adulta sana.

En els darrers anys, a través de nombrosos estudis, s'ha evidenciat una

correlació significativa entre el consum de sal i la pressió sanguínia arterial (Law, Frost i Wald, 1991; Kaplan, 2000; Karppanen i Mervaalaa, 2006). D'altra banda, també existeixen evidències que suggereixen que una elevada ingesta de sal pot causar hipertròfia del ventricle esquerre i un elevat risc de patir malalties cerebrals i cardiovasculars (**Taula 1.1.1.**) segons estudis d'Alderman, Cohen i Madhavan (1998), Perry (2000) i Walker, MacKenzie i Dunning (2007) entre altres.

Així doncs, observant-t'ho tant a escala individual com poblacional, és necessari dur a terme modificacions en la pauta d'alimentació per a disminuir les

Taula 1.1.1. Predicció de la reducció de les morts per malaltia cerebrovascular i cardiovascular amb la reducció de la ingesta de sal a nivell d'Europa (modificació de He i MacGregor, 2003).

	REDUCCIÓ DE LA INGESTA DIÀRIA DE SAL (SODI)					
	3 g sal/dia (50 mmol Na ⁺ /dia)		6 g sal/dia (100 mmol Na ⁺ /dia)		9 g sal/dia (150 mmol Na ⁺ /dia)	
	Pressió sistòlica	Pressió diastòlica	Pressió sistòlica	Pressió diastòlica	Pressió sistòlica	Pressió diastòlica
Caiguda mínima de la pressió sanguínia (mm Hg)	2,5	1,4	5,0	2,8	7,5	4,2
Reducció de la mortalitat per malaltia cerebrovascular (%)	12	14	23	25	32	36
Reducció de la mortalitat per malaltia cardiovascular (%)	9	10	16	19	23	27

prevalences actuals d'aquestes malalties cròniques associades a una ingesta excessiva de sodi (WHO, 2003).

Lligat a aquesta afirmació, diversos estudis han demostrat que una restricció del sodi a la dieta pot tenir un efecte antihipertensiu superior si es combina amb el consum d'aliments d'origen vegetal i la disminució de la ingesta de greixos saturats i totals (John, Ziebland, Yudkin, Roe, Neil, 2002; WHO, 2003; Dickson, Mason, Nicolson, Campbell, Beyer, Cook, William i Ford, 2006; Appel, Brands, Daniels, Karanja, Elmer i Sacks, 2006). Aquesta recomanació pot permetre una reducció de la dosi i el nombre de fàrmacs antihipertensius utilitzats pel control de la pressió arterial.

Actualment, el consum promig diari es situa, als països membres de la UE, entre 3 i 5 g sodi, equivalent a 8 i 11 g sal (COM, 2009; He i MacGregor, 2008).

L'Organització Mundial de la Salut (WHO, 2003), fruit de diversos estudis previs (He i MacGregor, 2003), considera necessària una reducció de la ingesta de sodi diària fins a 100 mmol (5,85 grams de sal). És quelcom que podria permetre reduir en un 23% la mortalitat provocada per malalties cerebrovasculars i en un 16% les cardiovasculars (**Taula 1.1.1.**). Per aquest motiu, recomana un consum de sal inferior a 5 g (corresponent a una quantitat de sodi < 1,97 grams);

quantitat que ha d'incloure qualsevol font de sodi (com els additius sòdics).

Hooper, Barlett, Smith i Ebrahim (2002), realitzant un compendi d'estudis previs, conclogueren que entre els 6 i 12 mesos de tractament nutricional és quan tenen lloc les màximes reduccions de pressió sanguínia a persones hipertenses i normotenses; i és quelcom que podria ajudar a disminuir l'administració de fàrmacs antihipertensius.

1.2. Sal i dieta

Nutricionalment parlant, sal i sodi són sovint utilitzats com a sinònims, pel fet que la sal n'és la principal font a la nostra pauta d'alimentació (malgrat que el sodi constitueix només el 40% del seu pes sec). I, conseqüentment a la pràctica, les recomanacions relatives a la ingesta diària de sodi són globalment interpretades com a orientacions en el consum diari de sal (NaCl). Relatiu a aquesta última puntualització, existeixen diversos additius alimentaris en els quals el ió sodi forma part de la seva formulació química. Els més utilitzats a la indústria alimentària es relacionen a la

Taula 1.2.1.

El sodi està present, de forma natural, als aliments d'origen vegetal i animal, i també a l'aigua de consum humà. Ara bé, segons un estudi de Mattes i Donnelly (1991), el sodi és principalment aportat a la dieta a través

[4]

del consum de productes alimenticis transformats; i també a la llar, durant la cocció i al moment del seu consum. A la **Figura 1.2.1.** es mostra, els percentatges representatius de cada font de sodi/sal.

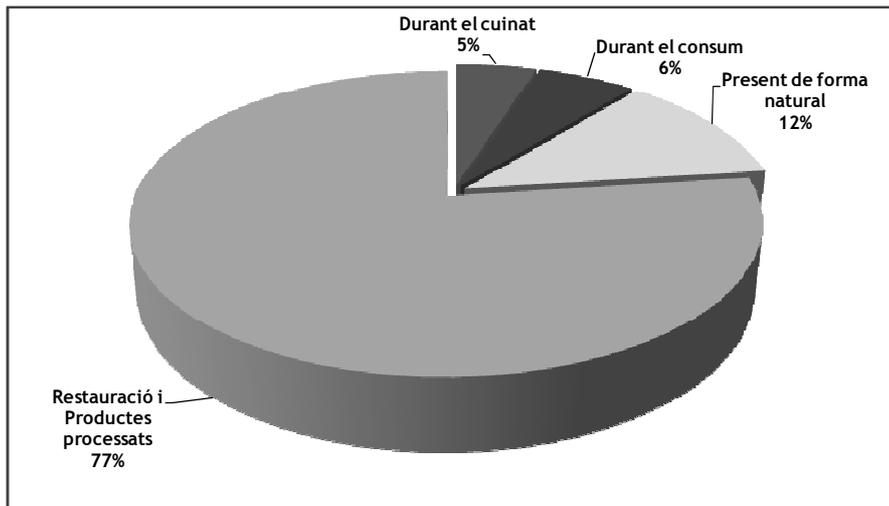
A nivell de la UE, i seguint les indicacions de l'OMS, la EU Platform on Diet, Physical Activity and Health (dins la DG SANCO) obrí, a l'any 2008, un front per a reduir el consum de sal a nivell dels països membres de la UE. Entre els punts clau d'actuació contemplà accions de reformulació dels productes alimenticis, a nivell de la indústria alimentària i sector de la restauració. De les 12 categories o grups d'aliments identificats dins l'acció, han instat als estats membres de la UE perquè elegeixin

categories o grups d'aliments per a iniciar-ho a través del seu pla nacional.

En relació a aquesta iniciativa, l'Agència Espanyola de Seguretat Alimentària i Nutrició (AESAN, 2009), per tal de conèixer quina és la ingesta de sodi de la població espanyola, encarregà a finals de l'any 2008 un estudi al Departament de Nutrició (Facultat de Farmàcia) de la Universitat Complutense de Madrid. També l'anàlisi d'una mostra representativa de productes alimenticis, a l'Organització de Consumidors i Usuaris (OCU). De la mostra poblacional estudiada (406 adults de 18-60 anys, 50% homes i 50% dones, procedents de 15 províncies diferents) obtingueren dades relatives a la quantitat de sal ingerida (estimada una mitjana de 9,7 g/dia)

Taula 1.2.1. Quantitat de sodi aportada per alguns additius alimentaris en comparació amb la quantitat de sodi aportada pel NaCl (Font: Doyle, 2008).

ADDITIVS ALIMENTARIS	ÚS TÍPIC ALS ALIMENTS	% SODI EN LA SEVA COMPOSICIÓ QUÍMICA
Clorur sòdic	1,5-2,0%	39,34%
Benzoat sòdic	0,1%	15,95%
Diacetat sòdic	0,1-0,4%	16,18%
Lactat sòdic	1,5-3,0%	20,51%
Propionat sòdic	0,3%	23,93%
Nitrit sòdic	0,012%	33,32%
Tripolifosfat pentasòdic	0,35%	31,24%
Pirofosfat tetrasòdic	0,35%	34,57%

Figura 1.2.1. Representació de les fonts de sodi/sal a la dieta (modificat de COM, 2008).

i quines eren les principals fonts dietètiques de sodi: a Espanya, el sodi alimentari total (restauració i aliments processats) suposa el 72% de la ingesta, mentre que la sal addicionada durant el cuinat i consum representa el 20%. L'estudi permeté llistar els grups i tipus d'aliments dins grup que més contribueixen en l'aportació de sodi/sal a

través de la dieta espanyola. Entre ells destacar els derivats carnis (**Taula 1.2.2.**), amb una aportació màxima del 26,16% (considerant que contenen un promig de 2,6 g NaCl per cada 100 g de porció comestible i que, segons l'estudi, es fa un consum diari mig de 56,7 g de producte carni). Al juny del 2009, fruit d'aquesta avaluació, el govern espanyol

Taula 1.2.2. Productes carnis com a principal font alimentària de sodi a la dieta de la població espanyola (extret de AESAN, 2009).

GRUPS D'ALIMENTS	% APORTACIÓ DE SODI/ SAL TOTAL A LA DIETA
Productes carnis	26,16
Derivats carnis curats	17,08
Pernil salat	11,73
Xoriço	3,87
Llonganissa	1,42
Fuet	0,06
Derivats carnis cuits	7,61
Pernil i indiot	4,73
Salsitxes	2,15
Foie gras i patès	0,34
Mortadel·la	0,31
Xóped	0,07

es comprometé, dins el Pla 2010–2014 (4 anys), a disminuir en un percentage mínim del 16% el contingut de sal de productes carnis, de plats preparats, pa i pans especials i de formatges (COM, 2009).

1.3. Plantejament d'estratègies per a reduir la ingesta de sodi

El requeriment d'una suficient motivació per a assolir canvis conductuals individuals relacionats amb la disminució de la ingesta de sal: selecció dels aliments en funció del seu grau de processat i tècnica de conservació (Mattes i Donnelly, 1991), i restriccions en l'addició de sal en la preparació i consum d'aliments (Blais, Pangborn, Borhani, Ferrell, Prineas i Laing, 1986), suposa un inconvenient en l'obtenció d'una resposta epidemiològica substancial, a curt i a mig terminis, a nivell poblacional.

Llavors, sembla ser que l'única alternativa existent és iniciar accions que disminueixin, a nivell global, el contingut de sal dels productes alimenticis processats. Ara bé, segons He i

MacGregor (2008), la indústria alimentària sol presentar certa reticència en reduir el contingut de sal dels productes processats. Això és degut a que la sal és un ingredient essencial, per a assolir l'estabilitat microbiològica i química del producte. També per a poder configurar el gust del producte; permetent que, a vegades, productes poc o gens palatables inicialment es puguin comercialitzar a poc cost, pel fet de ser un ingredient molt econòmic.

Per tant, davant aquesta problemàtica industrial és necessari recórrer a noves tecnologies en el processat d'aliments i a la seva reformulació, per a obtenir aliments estables microbiològicament i, alhora, acceptats organolèpticament (Bertino, Beauchamp, Risky i Engleman, 1981; Dötsch, Busch, Batenburg, Liem, Tareilus, Mueller i Meijer, 2009).

L'**Annex 1**, corresponent a una recent revisió tècnica publicada a la Revista Eurocarne (volum de març 2010), amplia aquesta justificació emparant-se en els àmbits polític i social.

REFERÈNCIES

- AESAN (2009).** Plan de reducció del consum de sal. Menos sal es més salut. Estrategia NAOS. Jornades de debat (disponible a 18/01/2010 a la URL: http://www.naos.aesan.msps.es/naos/ficheros/reduccion_sal/Memoria_reduccion_sal.pdf)
- Alderman, M., Cohen, H., & Madhavan, S. (1998).** Dietary sodium intake and mortality: the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES I). *Lancet*, 351, 781-785.
- Appel, L. J., Brands, M. W., Daniels, S. R., Karanja, N., Elmer, P. J., & Sacks, F. M. (2006).** Dietary approaches to prevent and treat hypertension. A scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*, 47, 296-308.
- Bertino, M., Beauchamp, G. K., Risky, D. R., & Engleman, K. (1981).** Taste perception in three individuals on a low sodium diet. *Appetite*, 2(1), 67-73.
- Blais, C. A., Pangborn, R. M., Borhani, N. O., Ferrell, M. F., Prineas, R. J., & Laing, B. (1986).** Effect of dietary sodium restriction on taste responses to sodium chloride: A longitudinal study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 44(2), 232-243.
- Dickinson, H. O., Mason, J. M., Nicolson, D. J., Campbell, F., Beyer, F. R., Cook, S. W., Williams, B., & Ford, G. A. (2006).** Lifestyle interventions to reduce raised blood pressure: A systematic review of randomised controlled trials. *Journal of Hypertension*, 24(2), 215-233.
- Dötsch, M., Busch, J., Batenburg, M., Liem, G., Tareilus, E., Mueller, R., & Meijer, G. (2009).** Strategies to reduce sodium consumption: A food industry perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(10), 841-851.
- Doyle, M. E., & Glass, K. A. (2010).** Sodium reduction and its effects on food Safety, food Quality, and human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(1), 44-56.
- EU Platform on Diet, Physical Activity and Health (2009).** EU Framework for National Salt Initiatives (disponible a 18/01/2010 a la URL: http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/life_style/nutrition/documents/national_salt_en.pdf).
- European Commission (COM, 2008).** Draft. Collated information on salt reduction in the EU (disponible a 17/07/2009 a la URL: http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/life_style/nutrition/documents/compilation_salt_en.pdf).
- European Commission (COM, 2009).** National Salt Initiatives implementing the EU Framework for salt reduction initiatives (disponible a 17/03/2010 a la URL: http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/life_style/nutrition/documents/national_salt_en.pdf).
- Law, M. R., Frost, C. D., & Wald, N. J. (1991).** By how much does dietary salt reduction lower blood pressure? II - Analysis of observational data within populations. *British Medical Journal*, 302, 815-818.
- He, F. J., & MacGregor, G. A. (2003).** How Far Should Salt Intake Be Reduced? *Hypertension*, 42(6), 1093-1099.
- He, F. J., & MacGregor, G. A. (2008).** A comprehensive review on salt and health and current experience of worldwide salt reduction programmes. *Journal of Human Hypertension*, 23(6), 363-384.

- Hooper, L., Bartlett, C., Smith, G. D., & Ebrahim, S. (2002). Systematic review of long term effects of advice to reduce dietary salt in adults. *British Medical Journal*, 325, 628-637.
- Institute of Medicine (IOM, 2004). Dietary Reference Intakes: Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate (disponible a 17/07/2009 a la URL: <http://www.iom.edu/Object.File/Master/20/004/0.pdf>).
- John, J. H., Ziebland, S., Yudkin, P., Roe, L. S., & Neil, H. (2002). Effects of fruit and vegetable consumption on plasma antioxidant concentrations and blood pressure: A randomised controlled trial. *Lancet*, 359, 1969-1974.
- Kaplan, N. M. (2000). The dietary guideline for sodium: should we shake it up? No. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(5), 1020-1026.
- Karppanen, H., & Mervaala, E. (2006). Sodium intake and hypertension. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 49(2), 59-75.
- Mattes, R. D., & Donnelly, D. (1991). Relative contribution of dietary sodium sources. *Journal of American College of Nutrition*, 10(4), 383-393.
- Perry, I. J. (2000). Dietary salt intake and cerebrovascular damage. *Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases*, 10(4), 229-235.
- Walker, J., MacKenzie, A. D., & Dunning, J. (2007). Does reducing your salt intake make you live longer? *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 6, 793-798.
- World Health Organization (WHO, 2003). Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a JointWHO/FAO Expert Consultation. Geneva, World Health Organization (Disponible a 03/07/2009 a la URL: http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_916.pdf).
- World Health Organization/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (WHO/FAO, 2005). A model for establishing upper levels of intake for nutrients and related substances. Nutrient Risk Assessment. 2-6 May 2005, Geneva, Switzerland (disponible a 17/07/2009 a la URL: http://www.who.int/ipcs/highlights/full_report.pdf).

CAPÍTOL 2: INTRODUCCIÓ



2.1. LA SAL EN ELS PRODUCTES CARNIS

2.1.1. La presència de la sal en productes carnis

La carn fresca conté uns 70 mg de sodi per 100 g (Souci, Fachmann, Kraut, 1986; Moreiras, Carbajal i Cuadrado, 2007). La sal, com a ingredient essencial, és la principal font de sodi als productes derivats de la carn (**Taula 2.1.1.**).

Actualment són encara pocs els consumidors que s'interessen pel contingut de sal present als aliments; a diferència de l'interès que desperta, amb la lectura de la informació nutricional, nutrients com els greixos i els sucres (FSA, 2008).

D'altra banda, són pocs els consumidors coneixedors de l'equivalència entre sal i sodi (Marshall, Bower i Schroder, 2007). I, considerant que les recomanacions internacionals són relatives a la sal, cal que es realitzi una unificació del format de la informació nutricional per aquest component (Grimes, Riddell i Nowson, 2009).

A l'any 2006, i complementant la Directiva 2000/13/CE relativa a l'etiquetatge dels aliments, es legislà el Reglament (CE) 1924/2006, del Parlament Europeu i del Consell, referent a les declaracions nutricionals i de propietats saludables dels aliments (Regulation EC No. 1924/2006). Al seu annex s'especifica les possibles declaracions nutricionals i

condicions aplicables a la quantitat de sodi/sal present als aliments:

(1) “Contingut reduït de sodi/sal”.

Només aplicable si la reducció és de com a mínim una diferència del 25% respecte els valors de contingut del producte alimentici homòleg.

(2) “Baix contingut de sodi/sal”.

Només podrà declarar-se que un aliment posseeix un baix contingut de sodi/sal, així com efectuar-se qualsevol altre declaració que pugui tenir el mateix significat pel consumidor, si el producte no conté més de 0,12 g de sodi, o el valor equivalent de sal, per 100 g o per 100 ml.

(3) “Molt baix contingut de sodi/sal”.

Només podrà declarar-se que un aliment posseeix un contingut molt baix de sodi/sal, així como efectuar-se qualsevol altra declaració que pugui tenir el mateix significat pel consumidor, si el producte no conté més de 0,04 g de sodi o el valor equivalent de sal, per 100 g o per 100 ml.

(4) “Sense sodi o sense sal”.

Només podrà declarar-se que un aliment no conté sodi o sal, així com efectuar-se qualsevol altra declaració que pot tenir el mateix significat pel consumidor, si el producte no conté

més de 0,005 g de sodi, o el seu valor equivalent de sal, per 100 g.

Aquestes declaracions només es poden utilitzar considerant els perfils nutricionals de cada aliment, o del grup d'aliments, tenint en compte (i especificant-ho exclusivament pel sodi/sal):

- la quantitat de sodi/ sal a l'aliment,
- la funció i importància de l'aliment (o del grup d'aliments) en la dieta de la població o bé, en el seu cas, de determinats grups poblacionals de risc,
- la composició nutricional global dels aliments que constitueixen la dieta, i la presència de sodi/sal en ells, amb efecte sobre la salut reconegut científicament.

I, consegüentment, aplicant la informació considerada, els productes carnis (crus-curats i/o cuits), si bé no poden englobar-se dins els grups d'aliments "sense", "molt baix" i "baix" contingut de sodi/sal, s'han iniciat diferents estratègies per a l'elaboració de productes carnis amb contingut "reduït" de sodi/sal.

2.1.2. Les funcionalitats de la sal en els productes carnis

Les raons per a utilitzar la sal en l'elaboració d'aliments transformats es poden classificar en 3 grans funcionalitats. Totes elles fan referència a les seves propietats químiques específiques i que la converteixen en un ingredient essencial en el processat i obtenció del

Taula 2.1.1. Contingut en minerals característics de la carn fresca de porc i dels productes carnis crus-curats elaborats amb carn de porc (Moreiras i col., 2007).

PER CADA 100 GRAMS DE PORCIÓ COMESTIBLE	CARN FRESCA I PRODUCTES CARNIS CRU-CURATS				
	PORC	PERNIL CURAT	SALAMI	LLONGANISSA	LLOM CURAT
Calci (mg)	8,0	12,7	17,0	15,0	20,0
Ferro (mg)	1,3	2,3	2,2	2,4	3,7
Iode (µg)	—	—	—	—	—
Magnesi (mg)	18,0	17,1	12,0	10,0	20,0
Zinc (mg)	1,8	2,2	—	1,7	2,6
Sodi (mg)	76,0	1110,0	1800,0	1060,0	1470,0
Potassi (mg)	370,0	160,0	240,0	207,0	230,0
Fòsfor (mg)	170,0	180,0	208,0	260,0	180,0
Seleni (µg)	14,0	—	6,9	26,1	—

—: dada no disponible.

producte final (Hutton, 2002). La primera funcionalitat està relacionada amb la seva acció preservant, sigui inhibint directament el creixement microbià, sigui indirectament, promovent canvis a nivell dels components de la matriu alimentària. La segona fa referència a la seva funció tecnològica; en productes carnis es tracta del control de l'activitat enzimàtica i l'increment de la capacitat de retenció d'aigua de les proteïnes miofibril·lars de la matriu càrnia. La tercera és la relativa a la seva acció modificadora de certs aspectes organolèptics: el gust (conferint el desitjat gust salat al producte final, o bé potenciant el flavor aportat per altres components) i, en productes carnis, també el color, la textura i el flavor. A continuació es detalla cadascuna d'aquestes funcionalitats.

2.1.2.1. Increment de l'estabilitat microbiològica de matrius alimentàries

La sal, com a ingredient, ha estat utilitzada durant milers d'anys per a la conservació d'aliments (Jensen, 1944). La seva activitat antimicrobiana manté una estreta relació amb la quantitat afegida (Sofos, 1983a; IFR, 2005).

Considerant la seva acció, destacar que els microorganismes són un medi constituït bàsicament per aigua, envoltat d'una membrana semiimpermeable. Han de viure necessàriament a un ambient

aquós que, majoritàriament, és hipotònic. Per mecanismes cel·lulars requereixen una regulació constant del moviment de l'aigua, des del medi cap a l'interior de la cèl·lula. L'addició de sal a un aliment transforma la matriu alimentària: un medi hipotònic esdevé més hipertònic; quelcom que suposa una reducció directa de l'aigua disponible pels microorganismes (activitat d'aigua, a_w) (Lenovich, 1987; Beuchat, 1983). Aquest fet pot provocar una pèrdua de fluids de la cèl·lula i, per estrès osmòtic, comportar la plasmòlisi i una conseqüent mort cel·lular. En cas que la davallada de l'aigua disponible per addició de sal permeti la supervivència dels microorganismes, se sol provocar un allargament de la fase de latència i la disminució de la taxa de creixement exponencial i, conseqüentment, de la carga microbiana total a l'aliment. En aquest cas, la sal només provoca una alteració de les activitats metabòliques: en la síntesi d'enzims o interferint en la pròpia activitat enzimàtica (Smith, Maurer, Bencivengo i Krusch, 1987; Shelef i Seiter, 1993; Ravishankar i Juneja, 2000). D'aquesta manera es pot considerar que l'efecte directe de l'addició de sal és bacteriostàtic (Leistner i Gould, 2003; Hajmeer, Ceylan, Marsden i Fung, 2006; Bidlas i Lambert, 2008). A la **Taula 2.1.2** es presenta la relació existent entre valors d'activitat d'aigua i concentracions de NaCl en solucions de sal.

Tanner i Evans (1933; 1934) i Hajmeer, Ceylan, Marsden i Fung (2006) observaren que la tolerància a la sal al medi varia entre espècies microbianes, i també entre soques d'una mateixa espècie microbiana. I, específicament en productes carnis crus-curats, la sal esdevé el preservant més actiu utilitzat. Petterson al 1899 (citada per Jensen, 1944), d'altra banda, demostrà que l'acció preservant de la sal és selectiva: la proliferació de bacteris anaerobis obligats és inhibida amb un contingut d'uns 5 g sal/100 g. Els bacils anaerobis facultatius i els *Micrococcus* toleren majors quantitats de sal. Quantitats de 10 g NaCl per cada 100 g de producte podria inhibir el creixement de la majoria de bacteris; però alguns en poden arribar a requerir continguts de fins un 15% NaCl (p/p) per inhibir-lo. Els llevats, però, poden arribar a sobreviure i dividir-se en medis amb més d'un 15% de sal.

Concretant en alguns microorganismes patògens, Stein (2000) observà com *Salmonella spp.* pot sobreviure a un medi amb una concentració de NaCl del 3,25% (p/p); *Clostridium perfringens* pot tolerar fins al 8% NaCl (p/p), mentre que altres espècies del mateix gènere (*Clostridium botulinum*, *C. sporogenes* i *C. putrificum*) poden sobreviure i proliferar a continguts de sal més elevats: 10–12 g NaCl en cada 100 g de medi (Petterson, 1899 en Jensen, 1944; Betts, Everis i Betts, 2007). D'altra banda, *Listeria monocytogenes* pot tolerar

concentracions dins el rang de 8-12% de sal en condicions òptimes; davant condicions adverses, per adaptació, sintetitza unes proteïnes específiques en resposta a l'estrès cel·lular (Duché, Trémoulet, Glaser i Labadie, 2002). Malgrat aquesta adaptació a les concentracions elevades de sal, la proliferació només és possible si el valor de pH, la concentració d'oxigen o de temperatura són els òptims; per contra, si no ho són, la tolerància a aquests valors d'activitat d'aigua requereixen condicions d'estrès cel·lular (Duché, Trémoulet, Glaser i Labadie, 2002). A la **Taula 2.1.3.** es presenta la tolerància de certs organismes per a proliferar dins els valors d'activitat d'aigua típics de diferents aliments.

És ben acceptat el fet que les concentracions de sal utilitzades a productes comercials no són adequades per a inhibir el creixement de les formes esporulades. I, així doncs, l'efecte de la sal s'ha de combinar amb altres factors que, sinèrgicament, puguin potenciar el seu efecte:

- La presència d'altres substàncies amb acció conservadora (Sofos, 1983a) com el nitrit i el nitrat (Yetim, Kayacier, Cesmen i Sagdic, 2006; Sebranek i Bacus, 2007), el KCl (Boziaris, Skandamis, Anastasiadi i Nychas, 2007) i sals d'àcids orgànics (Tan i Shelef, 2002; Brewer, Rostogi, Argoudelis i Sprouls, 1995).

Taula 2.1.2. Relació entre valors d'activitat d'aigua a 25 °C i concentracions de solucions de sal (modificat de Jay, Loessner i Golden, 2005).

ACTIVITAT D'AIGUA	CONCENTRACIÓ (mol NaCl/kg)	PERCENTATGE (% p/p)
0,995	0,15	0,90
0,990	0,30	1,70
0,980	0,61	3,50
0,960	1,20	7,00
0,940	1,77	10,00
0,920	2,31	13,00
0,900	2,83	16,00
0,880	3,33	19,00
0,860	3,81	22,00

Taula 2.1.3. Relació d'interval d'activitat d'aigua i existència de proliferació de microorganismes a diferents matrius alimentàries (modificat de Beuchat, 1983).

RANG D'ACTIVITAT D'AIGUA	MICROORGANISMES AMB CREIXEMENT INHIBITS EN EL LÍMIT INFERIOR D'AQUEST RANG	ALIMENTS QUE POSSEIXEN EL CITAT RANG D'ACTIVITAT D'AIGUA
1,00 - 0,95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , alguns llevats	Aliments molt peribles (frescs), fruites enllaunades, vegetals, carn, peix i llet
0,95 - 0,91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , algunes floridures, llevats (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>)	Alguns formatges (Cheddar, Swiss Muenster, Provolone), productes carnis curats (pernil)
0,91 - 0,87	Molts llevats (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i>	Productes carnis fermentats (salami), pastissos esponjosos, formatges secs, margarina
0,87 - 0,80	La majoria de floridures (<i>Penicillium</i> micotoxigènica), <i>Staphylococcus aureus</i> , la majoria d'espècies de <i>Saccharomyces</i> , <i>Debaryomyces</i>	Suc de fruita concentrat, llet condensada, xarops
0,80 - 0,75	La majoria de bacteris hal·lòfils, <i>Aspergillus</i> micotoxigènica	Confitura, mermelada

RANG D'ACTIVITAT D'AIGUA	MICROORGANISMES AMB CREIXEMENT INHIBITS EN EL LÍMIT INFERIOR D'AQUEST RANG	ALIMENTS QUE POSSEIXEN EL CITAT RANG D'ACTIVITAT D'AIGUA
0,75 - 0,65	Floridures xerofil·lics (<i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i>), <i>Saccharomyces bisporus</i>	Gelatina, sucre de canya integral, alguns fruits secs
0,65 - 0,60	Llevats osmofil·lics (<i>Saccharomyces rouxii</i>), unes quantes floridures (<i>Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>)	Fruits secs amb un contingut d'aigua del 15-20%, caramels, mel
< 0,60	No proliferació microbiana	

- Una disminució de la temperatura durant les primeres etapes del processat del pernil curat (salatge i post-salatge) de 5 a 2 °C proporciona una reducció important de la tolerància a la sal, per part d'alguns microorganismes alteradors (Paarup, Nieto, Peláez i Reguera, 1999).
- Una acidificació de la matriu càrnia durant l'etapa de fermentació dels productes carnis crus-curats ajuda a inhibir la proliferació de microorganismes patògens (Barbuti i Parolari, 2002).

2.1.2.2. Funcionalitat tecnològica de la sal a les matrius càrnies

2.1.2.2.1. Increment de la capacitat de retenció d'aigua de les proteïnes i la seva solubilització

Callow (1947) observà que quan submergia carn a salmorres amb diferents

concentracions de NaCl (de 5,8% a 26,1%, p/p) hi havia una pèrdua d'aigua procedent de l'interior de la matriu càrnia. I, per altra banda, quan treballà amb múscul de vedella homogeneïtzat, aquest es comportava seguint el mateix patró que les peces de carn que havien estat tractades amb concentracions de NaCl per sobre dels 3,4 M (quelcom que correspon a un 20% NaCl p/p). Per altra banda, experiments *in vitro* portats a terme per Offer i Knight (1987) i Xiong, Lou, Harmon, Wang i Moody (2000), per estudiar el mecanisme d'interacció entre les diverses proteïnes miofibril·lars i les sals (diferents concentracions de NaCl i valors de pH entre 5,5 i 6,0; per a simular les condicions naturals trobades a la carn després del sacrifici de l'animal), demostraren que a un pH de 5,5 no existeixen canvis significatius a l'estructura de les miofibril·les, fins que no s'assaja a una concentració de sal igual o superior a 0,6 M (3,5% NaCl, p/p)

a pH 5,5; i igual o superior a 0,5 M NaCl (2,9% p/p) a pH 6,0. A partir d'aquesta concentració s'evidenciava un increment del diàmetre de la fibril·la, acompanyat d'una extracció de proteïna de la banda A, a la part més interna (zona H). Existeix un augment de diàmetre fins un màxim que correspon a una concentració de NaCl de 0,8 M (4,7% p/p) segons Xiong i col. (2000), i a 1 M NaCl (5,8%, p/p) segons Offer i Knight (1987).

Existeixen diverses teories per a explicar-ho. La primera d'elles, proposada per Hamm (1986), l'ió Cl⁻ adopta interaccions més fortes amb les proteïnes que l'ió Na⁺. Aquest fet explica l'increment de densitat de càrrega negativa de les proteïnes amb la incorporació de sal a la matriu càrnia, sent el causant de la repulsió entre proteïnes adjacents i, doncs, de l'inflament de les miofibril·les o a una solubilització parcial d'aquestes. Per altra banda, els grups polars dels aminoàcids formen enllaços dèbils, tipus forces de van der Waals, amb les molècules d'aigua. Es forma una capa íntimament lligada amb les proteïnes (capa monomolecular). Altres capes de molècules d'aigua s'aniran disposant sobre aquesta capa primària.

Una segona teoria fou establerta per Offer i Knight (1988), basada en els enllaços selectius entre ions clorurs i la cadena lleugera de la miosina. Suggestiren que l'entrada de clorurs dins la matriu

càrnia causa tensions i trencament de filaments, perdent-se l'estructura miofibril·lar. Els cations Na⁺, per altra banda, s'anirien distribuint a la fase aquosa, creant forces osmòtiques entre filaments, provocant un inflament d'aquesta estructura proteica. Ambdues teories permeten explicar el paper que juga la sal en la retenció d'aigua en matrius càrnies.

2.1.2.2.2. Control de l'activitat enzimàtica durant el processat. Relació amb la textura i el flavor del producte carni

Les proteïnes i els lípids són els components complexos més abundants de la carn (Souci i col., 1986; Moreiras i col., 2007; Wood, Enser, Fisher, Nute, Sheard, Richardson, Hughes i Whittington, 2008) i, alhora, el principal substrat de tota la càrrega enzimàtica present: enzims endògens i microbians. Durant el processat dels productes carnis tenen lloc diverses reaccions bioquímiques: la proteòlisi, la lipòlisi i l'oxidació lipídica. Són processos enzimàtics que, per acció sinèrgica, permeten la generació de pèptids, aminoàcids lliures, àcids grassos i diversos compostos volàtils, respectivament (Berdagué, Denoyer, Le Quere i Semon, 1991; Buscailhon, Berdagué i Monin, 1993; Toldrà, Flores i Sanz, 1997; Gandemer, 2002; Toldrà, 1998; Toldrà, 2006). A les parts més internes del pernil curat, amb una

càrrega microbiana poc important, aquestes reaccions enzimàtiques són principalment protagonitzades per enzims endògens (Toldrà i Etherington, 1988).

El NaCl juga un paper primordial en el control d'aquesta activitat enzimàtica.

a) Grau de proteòlisi i textura del producte carni

La maduració de la carn s'inicia després del sacrifici de l'animal, amb una desnaturalització i ruptura de les estructures proteiques (Ouali, 1990; Tornberg, 1996; Jiang, 1998; Ilian, Bekhit i Bickerstaffe, 2004; Bee, Anderson, Lonergan i Huff-Lonergan, 2007). En un pernil, l'activitat proteolítica té lloc al llarg del seu processat (Toldrà, Rico i Flores, 1993; Córdoba, Antequera, García, Ventanas, López-Bote i Asensio, 1994; Rodríguez-Núñez, Aristoy i Toldrà, 1995; Martín, Antequera, Córdoba, Timón i Ventanas, 1998). Estudis duts a terme per Rosell i Toldrà (1996) demostraren que les calpaïnes, que actuen durant i després del *post-mortem*, també són actives durant el salatge, tenint un màxim d'activitat a 0,34 M NaCl, en el cas de la m-calpaïna. Relatiu a estadis de processat posteriors (post-salatge i d'assecatge/maduració), Rico, Toldrà i Flores (1990) observaren que la catepsina D deixa de ser activa entre el sisè i el desè mes de processat. Les catepsines B,

H i L mantenen la seva activitat enzimàtica al llarg de tot el processat del pernil, observant-se però una disminució d'aquesta, entre el 10 i el 15% respecte la inicial, a partir del quinzè mes (Toldrà i col., 1993). Les exopeptidases també es mantenen actives (Virgili, Saccani, Gabba, Tanzi i Soresi Bordini, 2007) pel fet que es requereixen continguts elevats de sal per a inhibir-les (Rico, Toldrà i Flores, 1990, 1991; Toldrà, Rico i Flores, 1992). L'aminopeptidasa B incrementa la seva activitat en elevades concentracions de sal, relacionat amb el fet que la presència de clorur l'activa (Flores, Aristoy i Toldrà, 1993).

Han estat diversos els estudis que han evidenciat una estreta relació entre un índex proteolític elevat (és a dir l'increment de la relació nitrogen no proteic/nitrogen total, NNP/NT) i certes problemàtiques relatives a la textura del pernil curat: excessiu estovament (Parolari, Virgili i Schivazappa, 1994; Virgili, Parolari, Schivazappa, Bordini i Borri, 1995) i pastositat (Arnau, 1991; García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador i Luque de Castro, 2000); que poden fins i tot implicar l'aparició d'amargor i gust metàl·lic al pernil (Virgili i col., 1995). En un intent d'evitar l'aparició d'aquestes textures anòmales, han estat diversos els estudis que han cercat els factors determinants de la seva aparició i, per tant, que condicionen la intensitat de l'activitat proteolítica existent durant la

maduració de la carn i el processat dels productes carnis. Alguns d'ells han relacionat els paràmetres de textura amb el pH de la matèria primera utilitzada (Ouali, 1990; Gil, Gispert i Sárraga, 1991; Arnau, Guerrero, Casademont i Gou, 1995; Schivazappa, Degni, Costa, Russo, Buttazzoni i Virgili, 2002; García-Rey, García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador i Luque de Castro, 2004; Gou, Morales, Serra, Guàrdia i Arnau, 2008), tenint en consideració el pH òptim de les activitats proteases. Altres estudis han evidenciat que la textura també està estretament influenciada per l'activitat proteolítica endògena (Virgili i col., 1995; Virgili i Schivazappa, 2002), per l'activitat d'aigua de la matriu càrnia (Serra, Ruiz-Ramírez, Arnau i Gou, 2005) i per la temperatura de processat (Arnau, Guerrero i Gou, 1997; Gou i col., 2008). També existeix una relació entre la concentració de NaCl present a la matriu càrnia i els paràmetres de textura del producte carni final. Flores, Bermell i Nieto (1983), Sárraga, Gil, Arnau, Monfort i Cussó (1989), Toldrà, Cerveró i Part (1993), Toldrà i col. (1993), Martín, Córdoba, Antequera, Timón i Ventanas (1998) i Andrés, Cava, Ventanas, Thovar i Ruiz (2004), entre altres autors, investigaren a nivell bioquímic l'efecte de la concentració de sal sobre les diferents activitats de les proteases. I, a nivell més tecnològic, Arnau, Guerrero i Sárraga (1998), Ruiz-Ramírez, Arnau,

Serra i Gou, (2005) i Gou i col. (2008) observaren com l'activitat proteolítica decreixia a mesura que s'incrementava el temps de salatge del pernil curat, degut a l'efecte inhibitor de la sal (Sárraga i col., 1989).

Finalment destacar que la textura d'un producte carni no és només conseqüència d'aquests mecanismes bioquímics prèviament descrits, sinó també d'una progressiva deshidratació que va incrementant la insolubilització proteica (Córdoba, Antequera, Ventanas, López-Bote, García i Asensio, 1994). I, conseqüentment, pel control d'aquests dos aspectes (processos bioquímics i deshidratació), cal fer ús d'una òptima elecció dels diferents paràmetres de procés. I, entre ells, la quantitat de sal afegida hi juga un paper molt important (Ruiz-Ramírez i col., 2006).

b) Grau de lipòlisi i aroma del producte carni

Entre els components de la matriu càrnia, els lípids són un dels components més àmpliament estudiats, per dues raons (Gandemer, 1999):

- Els perfils lipídics muscular i del teixit adipós estan subjectes a variació, tant qualitativa com quantitativa, en funció del sistema de producció animal i de la intensitat de la degradació bioquímica (lipòlisi i

oxidació lipídica) que té lloc durant el processat.

- Els lípids són un factor clau en els aspectes de qualitat dels productes carnis, incloent el valor nutricional i les propietats sensorials relacionades amb el flavor (són precursors dels components aromàtics).

La lipòlisi és un dels més importants mecanismes bioquímics de degradació dels lípids durant el processat del pernil curat (Martín, Córdoba, Antequera, Timón i Ventanas, 1998), principalment durant les primeres etapes de l'assecatge i maduració. Les lipases i les fosfolipases musculars en són les principals responsables (Motilva, Toldrà, Nieto i Flores, 1993), causant un increment de la quantitat d'àcids grassos lliures i diacilglicerols, paral·lel a una disminució de la quantitat de triacilglicèrids (García-Regueiro i Díaz, 1989). Existeix una intensa activitat lipolítica de triglicèrids durant els primers estadis del processat (salatge i post-salatge). Però, durant l'assecatge i maduració, només les lipases neutres romanen actives a nivell del teixit subcutani. Aspecte que es deu al fet que 7,5 g NaCl per litre de solució són suficients per a inhibir les lipases bàsiques i les esterases àcides, segons Motilva i col. (1993). A nivell muscular, Andrés, Cava, Martín, Ventanas i Ruiz (2005) observaren l'efecte de la concentració de sal i de la temperatura sobre la generació de diversos compostos

volàtils, en pernills curats. Conclogueren que, a les concentracions de sal assajades (3 i 6 g NaCl/100 g), als pernills amb més elevat contingut de sal hi havia més degradació de la fracció de fosfolípids que als que en contenien menys. S'exhibia, per tant, l'efecte promotor del NaCl sobre l'activitat lipolítica, tal com havien prèviament descrit Flores, Nieto, Bermell i Miralles (1985) i Buscailhon i col. (1994).

Les molècules generades a partir de la fracció lipídica (aldehids, cetones i alcohols, entre altres), especialment durant els primers 6 mesos de processat (Courtron-Gambotti i Gandemer, 1999), esdevenen susceptibles a l'oxidació lipídica; com a pas requerit per a adquirir, el producte carni, el seu flavor característic (Toldrà, 1998; García, Berdagué, Antequera, López-Bote, Córdoba i Ventanas, 1991; López, de la Hoz, Cambero, Gallardo, Reglero i Ordoñez, 1992; Ruiz, Ventanas, Cava, Andrés i García, 1999). Els àcids grassos lliures (Gray i Pearson, 1984) i, principalment els que posseeixen més insaturacions (com el linoleic), són els més altament exposats a l'oxidació lipídica (Courtron-Gambotti i Gandemer, 1999).

2.1.2.3. Acció organolèptica

Referent a l'acció de la sal sobre aspectes de textura i el flavor, aquesta

ha estat detallada a l'anterior subapartat **2.1.2.2.** En el present, es tractarà el paper de la sal en la intensitat del gust salat i en el color de la matriu càrnia.

2.1.2.3.1. Aspectes referents a la percepció de la intensitat del gust salat

La sal és addicionada a un ampli rang de productes alimenticis, pel seu característic gust salat i, també, per a la seva habilitat d'augmentar o modificar el flavor d'altres ingredients.

En allò referent a la percepció del gust salat en productes alimenticis, aquesta depèn significativament, en primer terme, del contingut de sal present a l'aliment (en pernils curats reestructurats: Fulladosa, Serra, Gou i Arnau, 2009; i en llonganisses: Guàrdia, Guerrero, Gelabert, Gou i Arnau, 2008). Però també el grau d'intensitat del gust salat es veu influenciat per altres factors, tant extrínsecs com intrínsecs al propi producte alimentici, que es descriuran a continuació.

En productes carnis, la percepció del gust salat és inversament proporcional al contingut d'aigua del producte (Careri, Mangia, Barbieri, Bolzoni, Virgili i Parolari, 1993).

Les condicions de processat poden també afectar significativament a la distribució de la sal a una matriu càrnia, causant que la intensitat del gust salat, a

diferents parts del producte, no sigui homogènia. En el processat de pernils curats, la sal migra de les zones exteriors, més seques, a les interiors, amb un contingut d'aigua més elevat, per assolir un equilibri de concentracions en fase aquosa (Arnau i col., 1995).

El temps d'assecatge i maduració d'un pernil curat també pot influenciar en la homogeneïtat del gust salat del producte final. Si el processat s'ha dut a terme ràpidament, el gust salat sol ser més intens a músculs de la zona exterior que el dels de la zona interior. Això és degut a que no s'ha deixat suficient temps per assolir l'equilibri de concentracions en base aquosa. Assolint l'equilibri de concentracions, a temps d'assecatge i maduració més perllongats, entre 12 i 26 mesos, no existeixen diferències en la intensitat del gust salat, si el procés s'ha dut a terme sota condicions constants de temperatura (18 °C) i d'humitat relativa (75%), segons resultats de Cilla, Martínez, Beltrán i Roncalés (2005).

D'altra banda, alguns tractaments de processat dels productes carnis poden influenciar significativament la intensitat del gust salat. Tanzi, Saccani, Barbuti, Grisenti, Lori, Bolzoni i col. (2004), en peces de pernil pot-salades, i Fulladosa i col. (2009), en pernil curat reestructurat, observaren que el tractament d'altres pressions hidrostàtiques, malgrat no afectar ni en el contingut d'aigua ni el de

sal, potencia el gust salat. Aquest fet és degut a que les forces electrostàtiques establertes entre els ions Na^+ i Cl^- i les proteïnes miofibril·lars poden ser disminuïdes per efecte d'un tractament d'altres pressions (i també per una elevada temperatura), segons Tanzi i col. (2004).

Referent a les condicions de conservació del producte final, igualment poden afectar a la intensitat del gust salat d'un producte. Cilla, Martínez, Beldrán i Roncalés (2006) observaren, en llesques de pernil curat, envasades en atmosfera protectora durant períodes prolongats de temps, un increment de la intensitat del gust salat. Quelcom que es pot atribuir, principalment, a l'ús d'una il·luminació intensa als lineals que pot incrementar la temperatura de l'envàs i de la part de producte en contacte amb ell. En aquestes condicions el producte es pot assecar, incrementant el contingut de sal i, per tant, la percepció de gust salat.

Segons Careri i col. (1993), la intensitat del gust salat es pot incrementar considerablement degut a la presència de substàncies procedents de la proteòlisi, com els àcids glutàmic i aspàrtic, en pernil curat. I, oposadament, la seva intensitat es pot disminuir amb l'addició d'ingredients i additius, com aromes específics i sucres (Boadas, Gou, Guàrdia i Arnau, 2000), així com de diverses sals, orgàniques i inorgàniques, utilitzades com a substituïts, com a

estratègia per a reduir el contingut de sodi en productes carnis.

Els continguts de greix i proteïna també interfereixen en la percepció de gust salat. Matulis, McKeith, Sutherland i Brewer (1995) observaren que el gust salat dels productes carnis greixosos és més notable que els seus equivalents més magres, pel mateix contingut total de sal. I, doncs, demostraren l'existència d'una correlació positiva entre el contingut de greix i el grau d'intensitat del gust salat. Aquesta observació també fou corroborada per Ruusunen, Vainionpa, Lyly, Lähteenmäki, Niemistö, Ahvenainen i Puolanne (2005) i considerada per Ruusunen & Puolanne (2005). Els primers citats, reemplaçant part magra per greix, per incrementar el contingut en greix i reduir el proteic, conclogueren que la intensitat del gust salat depèn de la composició/formulació del producte carni i que el contingut de proteïna disminueix el grau d'intensitat del gust salat. Al seu torn, Sárraga, Guàrdia, Díaz, Guerrero, García-Regueiro i Arnau (2007), estudiant-t'ho en carn crua, pernil cuit i espatlla curada procedents de porcs control i porcs alimentats amb àcid docasahexaenoic (DHA) i/o α -tocoferil acetat, suggeriren que la qualitat del greix present a la matriu càrnia pot influir en la percepció del gust salat en productes crus-curats; pel fet que observaren que la presència

de DHA intensificava significativament la seva percepció.

2.1.2.3.2. Efecte del NaCl sobre el color de matrius càrnies

El color és una característica organolèptica que influeix significativament en la selecció i compra de la carn i dels productes carnis (Risvik, 1994; Resurreccion, 2003). La decoloració, com a factor de qualitat, és sovint usat pels consumidors com a indicador de frescor i salubritat de la carn (Brewer i McKeith, 1999; Mancini i Hunt, 2005). En pernil curat és una característica d'aparença (Gandemer, 2002) que condiciona la seva acceptabilitat. I, específicament en pernil curat llescat, Gou, Guerrero i Arnau (1995) observaren l'existència d'una correlació negativa entre la intensitat del color vermell i la brillantor amb el contingut lipídic intramuscular; fet que pot condicionar notablement l'elecció d'aquest producte carní a una gran superfície.

La importància del color en l'acceptabilitat del pernil ha condicionat la necessitat de realitzar estudis relatius als pigments i als factors implicats (Møller, Jakobsen, Weber, Martinussen, Skibsted i Bertelsen, 2003; Wakamatsu, Nishimura i Hattori, 2004; Wakamatsu, Okui, Ikeda, Nishimura i Hattori, 2004; Adamsen, Møller, Laursen, Olsen i Skibsted, 2006), així com la cerca de tècniques per a dur a terme mesures

objectives no destructives d'aquest paràmetre (García-Esteban, Ansorena, Gimeno i Astiasarán, 2003; Mancini i Hunt, 2005).

La mioglobina (Mb) és el pigment carní responsable de la coloració vermella de la carn. En el processat de productes carnis, l'addició de nitrit i nitrat propicia la formació de nous estats de la mioglobina: la mioglobina esdevé nitrosilmioglobina; pigment vermell i estable, fruit de l'enllaç entre la mioglobina i l'òxid nítric. Segons Frenzt i Zert (1990), entre un 10 i un 40% de la mioglobina total es transforma en nitrosilmioglobina.

En absència de nitrit, diversos estudis de Wakamatsu i col. (2004 a, b), duts a terme en pernills de Parma (Parolari, 1996), evidenciaren la formació d'un complex (Zn-protoporfirina IX), on el ferro del grup hemo és substituït per zinc. Estudis posteriors (Adamsen, Møller, Laursen, Olsen i Skibsted, 2006) permeteren detectar la presència d'aquest complex en altres productes carnis (entre ells el pernil curat i pernil ibèric), però en menor concentració. Doncs, mentre que en pernills del nord d'Itàlia aquest pigment és el responsable del color, en productes carnis on el nitrat i nitrit són addicionats en forma de sals, la seva producció està en part inhibida; i el responsable del color és bàsicament el complex nitrosilmioglobina (MbFe(II)NO).

Com a efecte de l'addició de sal (30 g/kg), Fernández-López, Sayas-Barberá, Pérez-Álvarez i Aranda-Catalá (2004) observaren que aquesta afavoria la formació de metamioglobina i decreixia la proporció d'oximioglobina i mioglobina, explicant-ho per l'habilitat del grup hemo d'oxidar-se d'estat ferrós a fèrric (metamioglobina). Al no observar el mateix resultat que a un estudi previ (Fernández-López, Pérez-Álvarez i Aranda-Catalá, 2000), on l'addició de sal anava acompanyada d'un increment del valor de L^* (lluminositat) i una disminució del d^* (intensitat del vermell), suggeriren que el canvi de coloració de la carn salada depèn més dels canvis de l'estructura proteica i de l'aigua lliure conjuntament amb la seva interacció amb la llum, que de l'estat d'oxidació de la mioglobina. Així doncs, atribuïren la disminució de la L^* , a mesura que s'incrementa la concentració de sal, a la pròpia acció alterant de la sal sobre

l'equilibri osmòtic: la sal provoca canvis en les càrregues electrostàtiques de les miofibril·les i en el seu punt isoelèctric, causant conseqüentment un increment de la capacitat de retenció d'aigua a nivell de la superfície i una reducció de la reflexió de la llum i la lluminositat. Referent a la intensitat del vermell, aquesta augmentava paral·lelament a l'increment de concentració de sal durant el salatge. Suggestiren que podia ser degut a dos fets. El primer explicat pel paper de la sal en l'extracció de proteïnes sarcoplasmàtiques, inclosa la mioglobina, cap a la superfície de la carn. S'incrementa, d'aquesta manera, a nivell superficial, la quantitat de components que contribueixen al color vermell de la carn. I, el segon, atribuït a la reducció de l'aigua disponible a nivell de la superfície, per acció de l'addició de sal (Fernández-López i col., 2000), provocant una concentració de la mioglobina a aquesta regió.

2.2. ADDICIÓ DE SAL I FENÒMENS DE TRANSFERÈNCIA DE MASSA DURANT EL PROCESSAT DE PRODUCTES CARNIS

L'addició de sal en productes carnis crus-curats de peça entera i/o picats té com a objectiu iniciar un procés tecnològic que culminarà amb l'obtenció d'un producte final estable microbiològicament, i que posseirà unes característiques organolèptiques pròpies.

2.2.1. Addició de sal i transferència de massa en productes carnis de peça entera

2.2.1.1. El salatge de peces de pernil

Prenent en consideració el pernil curat, com a exemple característic de producte carni de peça entera, el salatge

(etapa precedida per la selecció, classificació, identificació i designat de la matèria primera, i seguida de les fases de post-salatge, assecatge i maduració) té com a finalitat incorporar i iniciar la distribució del clorur sòdic (NaCl), sals nitrificants (nitrits i nitrats), i altres additius autoritzats (ascorbat sòdic, lactat potàssic, dextrosa,...), als músculs del pernil.

Existeixen un seguit de condicions relatives a l'elaboració del *Jamón Serrano* (Official Journal EC C 371, 1998; Council Regulation (EC) No. 509/2006; MARM, 2010;), que determinen les característiques de la matèria primera, l'ús i la quantitat permesa d'ingredients i additius, així com les condicions termohigromètriques recomanables per a dur a terme les diferents operacions bàsiques que constitueixen el processat d'aquests productes carnis. Prenent com a referència la citada norma de qualitat, el contingut màxim de NaCl permès per a l'elaboració d'aquest pernil curat és d'un 15% en base seca desgreixada.

L'anomenat *salatge per via seca*, utilitzat als països de la conca mediterrània, es pot dur a terme a través de dues modalitats:

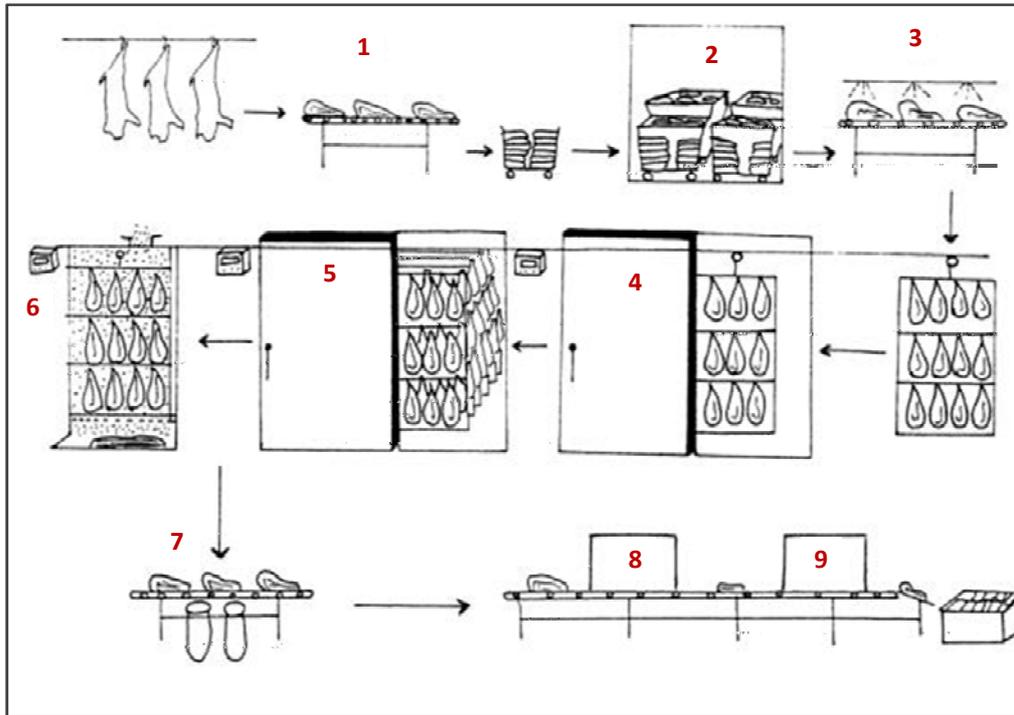
- a) Salatge de pernills per recobriments de sal.
- b) Salatge mitjançant una quantitat limitada de sal.

A continuació, a la **Figura 2.2.1.** es mostra el diagrama de flux característic del processat de pernil curat.

a) Salatge de pernills per recobriments de sal

Aquesta modalitat, utilitzada principalment a Espanya i a part de França i Itàlia, exigeix que a l'inici del salatge totes les peces de pernil, amb prèvia selecció per pes, pH, i també sovint per gruix de greix d'embolcall, posseeixin unes condicions tèrmiques homogènies. I, per a assolir-ho, les peces requereixen ser penjades a una cambra de fred, de 24 a 48 hores, a una temperatura de 2 °C. A continuació, encara previ al salatge (durant el "pre-salatge"), s'efectua un massatge a les peces, a la seva part magra, a l'os i a la part greixosa, aplicant una primera capa de sal fina seca que conté NaCl i sals nitrificants (i, a vegades, sucres i ascorbat). Les finalitats d'aquest estadi de processat és facilitar la distribució superficial i la penetració dels ingredients i additius addicionats i ajudar a l'extracció de la sang residual present (Arnau, 2007). Seguidament s'inicia l'etapa de salatge (**Figura 2.2.1.**). Les peces de pernil s'apilen a la cambra de salaó coberts de sal. La durada d'aquesta etapa es determina mitjançant el pes de les peces, establint-se un barem orienta-

Figura 2.2.1. Diagrama de flux del processat del pernil curat: **1.** recepció, **2.** salatge, **3.** rentat de sal, **4.** post-salatge, **5.** assecatge/maduració, **6.** fumat (opcional), **7.** desossat, **8.** premsat, **9.** llescat i envasament (Font: Toldrà, 2002).



tiu de 0,65 a 2 dies per quilogram de pes, per peces refrigerades (MARM, 2010). Finalitzada aquesta etapa, les peces de pernil han assolit una pèrdua de pes dins el rang de 6,93–7,35%, segons Arnau, Gou i Comaposada (2003).

b) Salatge mitjançant una quantitat limitada de sal

Els pernils es fregen individualment, mitjançant massatjadores, o bé manualment, amb una quantitat exacta de sal i additius per quilogram de pes de la peça. Seguint un procés de durada de

14 a 21 dies (depenent de la grandària de les peces), es mantenen aquestes disposades horitzontalment.

Malgrat que la difusió de la sal a través de la matriu càrnia és un fenomen depenent de la temperatura, el procés de salatge cal que es dugui a terme dins un estret rang de condicions termohigromètriques: Pérez-Álvarez, Fernández-López, Gago-Gago, Pagán-Moreno, Ruiz Peludo, Rosmini, López-Santobaña i Aranda-Catalá, 1996 proposen temperatures entre 1,0 i 3,3 °C, per evitar qualsevol risc de proliferació microbiana (Leistner i Gorris, 1995), i una humitat

relativa ambiental superior al 75%, per evitar la dessecació externa del pernil (Chizzolini, Rosa i Novelli, 1993) i la deshidratació de la sal present a la superfície, facilitant la formació d'una salmorra saturada a nivell de la superfície de la peça.

Després del salatge, cal que la sal es difongui completament per la matriu càrnia. És quelcom que requereix d'un període d'1 a 3 mesos, a una temperatura inferior a 5 °C; durada depenent de les característiques intrínseques de la peça de pernil. L'objectiu és augmentar l'estabilitat microbiològica de la peça, disminuint-se l'activitat d'aigua fins a un valor inferior a 0,96 (Leistner i Gorris, 1995). Posteriorment, durant l'etapa d'assecatge i maduració, sota condicions termohigromètriques controlades, les temperatures es van augmentant gradualment i la humitat relativa atmosfèrica es disminueix progressivament. Durant aquest estadi de processat, s'intensifica la deshidratació de la peça, i també els processos bioquímics. La seva durada és variable, sent depenent del producte final desitjat: una durada de només 6 mesos fins a 24 mesos o superior en pernils de bodega. Els increments de temperatura són ajustats considerant la seva durada total (Arnau, 1991).

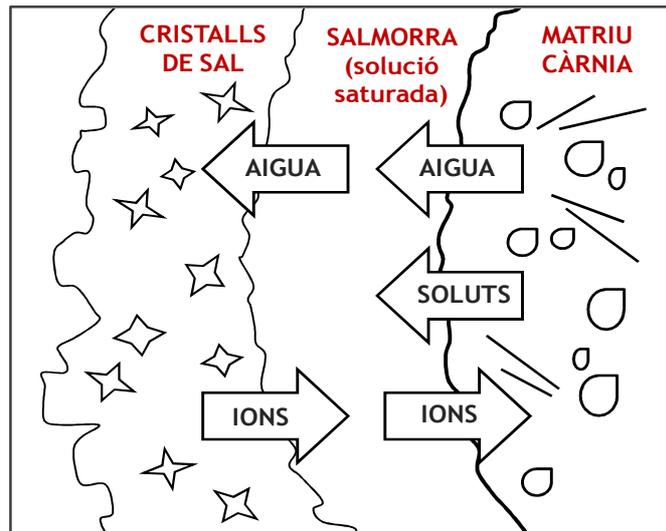
2.2.1.2. Formació de la salmorra i captació de sal durant el salatge

Amb l'addició de sal, a nivell de la superfície de la peça de pernil (**Figura 2.2.2.**), es generen tres processos de transferència de massa simultanis (Raoult-Wack, 1994):

- una important sortida d'aigua, des de la matriu càrnia cap a l'exterior, formant-se una salmorra que roman en contacte directe amb la matriu càrnia,
- una transferència d'ions salins des de la salmorra cap a l'interior de la matriu càrnia,
- una lixiviació de soluts propis de la matriu càrnia que es mouen cap a la superfície, dissolts en l'aigua que constitueix la fase aquosa de la matriu càrnia.

Durant el salatge, la transferència de massa interna dels ions salins i de l'aigua mantenen una estreta relació amb el gradient existent de continguts d'aigua de la superfície exposada i de la salmorra. A l'inici, el contingut d'aigua a la peça del pernil és gairebé homogeni (prenent en consideració la seva composició i estructura); però iniciat el procés de salatge, el contingut d'aigua de les regions més superficials disminueix, tendint a un valor que ha de

Figura 2.2.2.
Representació del sistema
carn–salmorra–cristalls
de sal, caracterís-tica
del procés de salatge per
via seca.



romandre en equilibri amb el de la sal cristal·litzada, dipositada sobre la superfície de la peça. Segons Okos, Narsimhan, Singh i Weitnauer (1992), aquest valor es coneix com a *contingut d'aigua a l'equilibri*. Considerar també que el valor d'humitat relativa crítica del NaCl, als 5 °C, és del 75,6% (Arnau, 2007) i l'assoliment d'aquesta condició higromètrica requereix de l'establiment d'un nou equilibri entre el contingut d'aigua dels cristalls de sal i la humitat relativa de l'aire circumdant, que es coneix com a *humitat relativa d'equilibri (HRE)* (Sokhansanj i Jayas, 1995).

Un concepte molt utilitzat a l'àrea de la Tecnologia dels Aliments (Fennema i Carpenter, 1984), és el d'*activitat d'aigua* (a_w). L' a_w equival a la relació existent entre la pressió de vapor de l'aigua present, en aquest cas als cristalls de sal (p) i la pressió de vapor

de l'aigua pura (p_0), a pressió atmosfèrica, segons l'**equació 2.2.1.**:

$$a_w = \frac{p}{p_0} \cong \frac{HRE}{100} \quad [2.2.1.]$$

A nivell pràctic, les *isotermes de sorció* (adsorció i desorció) són usades com a representacions gràfiques per a relacionar el contingut d'aigua de l'aliment, expressat en kg aigua/kg matèria seca (o la humitat relativa de l'aire circumdant), amb cada valor d'activitat d'aigua a l'equilibri i a una temperatura constant.

El moviment continu dels ions a través de la matriu càrnia va generant modificacions dels continguts locals al llarg de tot el procés de salatge (Arnau i col., 1995), promovent moviments simultanis d'aigua, en sentit contrari; és a dir, des de les regions internes a les més superficials. Pel fet que es tracta

d'un moviment lent; i que s'alentitza més a mesura que va decreixent el contingut d'aigua global (Okosi col., 1992), és difícil determinar els perfils de continguts d'aigua i sal locals en curts intervals de temps. Pérez-Álvarez i col., al 1996, observaren diferències en els continguts d'aigua ($P < 0,05$) i de sal ($P < 0,01$) dins i entre músculs d'una mateixa peça de pernil, durant l'etapa de salatge; observació que atribuïren a mecanismes osmòtics i difusius. Concloueren que el múscul *Semimembranosus*, pel fet que resta en contacte directe amb la sal addicionada, és un dels que està sotmès de forma més significativa a aquestes diferències en continguts, comparant les regions més superficials amb les més internes d'aquest múscul.

I si bé aquests fenòmens de transferència de massa són tant evidents a nivell de teixit muscular, altres estudis han demostrat que la penetració de la sal (Fox, 1980; Wood, 1966) i/o d'aigua (Ruiz-Cabrera, Gou, Foucat, Renou i Daudin, 2003) a través del greix, i també del teixit conjuntiu (Nieto, 1988; Hansen, van der Berg, Ringgaard, Stødkilde-Jørgensen i Karlsson, 2008) és més lenta.

León-Crespo, Galán-Soldevilla, Peralta-Fernández, Ciudad-González, Balderas-Zubeldia i col. (1997) comprovaren que la captació de sal en pernills seguia un model d'entrada gairebé lineal entre els dies 1 i 9 del període de salatge. A partir del dia 9, i fins el dia 11,

observaren una desviació no esperada: un increment abrupte de l'entrada de sal respecte la resta de dies de salatge. Durant aquest últim període s'esperaria un alentiment de la transferència de massa, degut a l'existència d'un major equilibri entre els continguts locals de sal de les regions més superficials amb les més internes. Atribuïren, com a explicació d'aquest fet, l'existència de fenòmens d'hidratació de les miofibril·les i d'altres components solubles del múscul, que permetria la captació de major quantitat d'ions salins. Així doncs, i en relació amb aquest fet, destacar que el moviment dels ions salins a través de la matriu càrnia provoca canvis en el comportament de les proteïnes miofibril·lars, que causen una conseqüent extracció de components de naturalesa bàsicament proteica (Offer i Knight, 1988). Aquests components solubles, conjuntament amb l'aigua perduda, constituïran l'exsudat (Callow, 1947); que a nivell de la superfície ajudarà a dissoldre els cristalls de NaCl i de sals nitrificants (formant-se una salmorra saturada) i incrementarà, progressivament, la quantitat d'ions salins captats per part de la matriu càrnia.

La formació de la salmorra és una condició indispensable per a assolir una dissolució òptima de la sal i dels additius addicionats. Per a l'optimització d'aquest procés existeix un conjunt d'aspectes que cal considerar:

- Si la granulometria de les sals utilitzades (NaCl, NaNO₂, KNO₃) és petita, la relació superfície/volum del grànul és elevada; sent quelcom que facilita la seva dissolució, iniciant-se la penetració dels ions salins més ràpidament cap a l'interior de la matriu càrnia.
- El control exhaustiu de la temperatura i de la humitat relativa atmosfèrica (HR) de la cambra de salatge, durant tot el procés de salatge per via seca, és essencial si es té en compte que cadascun dels ingredients i additius addicionats presenta unes humitats crítiques pròpies de cada temperatura. Per sobre d'elles absorbeixen aigua; i, per sota, s'assequen i cristal·litzen. Així doncs, amb la finalitat de mantenir hidratades aquestes sals, cal conèixer que a 5 °C el NaCl té un valor d'humitat relativa crítica del 75,6%; el NaNO₂, del 66% i, el KNO₃, del 96,3% (Arnau, 2007). El NaCl, com a component salí addicionat de forma més abundant; i això doncs és el que condiciona la HR mínima necessària per a la formació de la salmorra a la superfície de la peça de pernil. Llavors, considerant que la seva HR crítica mínima és del 75,6% i que, a un valor d'HR superior al 95% existiria una excessiva pèrdua d'ions clorur i sodi per excessiva hidratació (Arnau, 2007), en forma de residus ambientals (estudiats per Barat, Vidal-Brotón, López-Pascual i Gras, 2006), s'estipula que el rang òptim d'humitat relativa de l'atmosfera de la cambra de salatge és del 75 al 95%.
- El pH de la matriu càrnia, com a característica essencial de la matèria primera utilitzada, té un efecte significatiu sobre la quantitat de sal captada, pel fet que condiciona la capacitat de retenció d'aigua (Hamm, 1986), sent quelcom que té plena relació amb la integritat de les miofibril·les i la seva desnaturalització (Offer i Knight, 1988). Arnau i col., 1995, estudiaren l'efecte del pH sobre el contingut de sal de pernils (quantificant-ho al múscul *Semimembranosus*). Observaren que els pernils amb un valor de pH més baix (PSE, pH als 45 minuts *post-mortem* (pH₄₅) < 6.0 i conductivitat > 10 µs) capten significativament més sal que els normals (pH₄₅ < 6.0 i conductivitat < 6 µs). Com a explicació d'aquest fet citar que el punt isoelèctric de les miofibril·les és de 5,50 (segons Foegeding i Lanier, 1996), i per sota d'aquest pH, la capacitat de retenció d'aigua del múscul disminueix: l'aigua intracel·lular passa a l'espai

extracel·lular (Offer i Trinick, 1983) i, al seu torn, cap a la superfície (fet que pot suposar pèrdues de pes de prop del 4% respecte les de pernils de pH normal, segons Maggi i Oddi, 1988). Aquest major flux d'aigua, des de l'interior de la matriu càrnia cap a la superfície, causa una major solubilització dels ions salins, propiciant un augment de la seva captació per part de la matriu càrnia.

En referència a peces pernil amb pH elevat (6,1-6,4), mentre que Pérez-Álvarez i col., al 1996, no observaren diferències en el contingut de clorur comparant amb el de peces de pernil considerades normals (5,6-6,0), Ruiz-Ramírez, Arnau, Serra i Gou (2005) evidenciaren, a músculs *Biceps femoris* i *Semimembranosus* curats, que els de pH > 6,2 posseïen uns continguts superiors de sal, en base seca, que els de valors de pH < 5,7. Això és degut a que una major retenció de l'aigua intracel·lular propicia una dissolució més lenta dels ions salins, incrementant el temps de contacte i, per tant, provocant un augment de la captació dels ions salins.

Malgrat aquests resultats, per a l'elaboració de pernils curats, peces amb un pH baix haurien de ser rebutjades per a l'elaboració de

pernil curat; pel fet que el producte final pot presentar una qualitat defectuosa: excessiva intensitat del gust salat, pal·lidesa, sequedat superficial i esquerdes musculars que es poden convertir en un punt d'entrada i proliferació de microorganismes. Peces de pernils amb valors de pH elevat també han de ser rebutjades si l'objectiu és evitar la contaminació microbiològica durant el processat (Toldrà, 2002). Així doncs, peces amb valors de pH extrems a les 24 h *post-mortem* no són recomanables per al salatge de pernils (Arnau i col., 1995).

2.2.1.3. Difusió de sal i aigua a l'interior de la peça de pernil

A la matriu càrnia els ions es difonen principalment a través de la fase aquosa del múscul; però també travessant membranes, més o menys modificades per acció dels continguts locals de sal (Raoult-Wack, Petitde-mange, Giroux, Guilbet, Rios i Lebert, 1991), mitjançant fenòmens de capil·laritat (León-Crespo i col., 1997). L'aigua, que es mou per osmosi o per difusió, també arrastra ions al seu pas, generant-se un transport en sentit contrari al difusiu dels ions (Mittal, Blaisdell i Herum, 1982). Però, pel fet que a la majoria d'estudis realitzats en carn i productes carnis, el moviment dels

ions s'ajusta de manera raonable a un moviment difusiu (Andújar i Tarrazo, 1981), cal restar importància a aquest fenomen descrit que té lloc durant el salatge.

Diferents autors han estudiat la relació existent entre la difusió i el contingut d'aigua de la matriu càrnia (Okos i col., 1992); i també com aquesta resta afectada a l'addicionar sal (Gou, Comaposada i Arnau, 2003; Palmia, Pecoraro i Ferri, 1993). Aquesta relació, en aplicació a la *Llei de Fick*, és atribuïble al fet que la difusió de l'aigua i dels ions salins està controlada pel seu gradient de concentracions dins la matriu càrnia i, també per un coeficient, denominat *coeficient efectiu de difusivitat*, a la bibliografia sovint referenciat com a D_e o D_{eff} (a la present memòria, d'aquí a endavant se citarà com "D"), relacionat amb tots els canvis estructurals que tenen lloc a la matriu càrnia, i condicionats per diversos factors:

- a) **factors intrínsecs**, depenents de la composició i estructura de la matriu càrnia,
- b) **factors implícits** a la pròpia transferència de massa per difusió,
- c) **factors extrínsecs**, subjectes a les condicions de processat que poden afectar al fenomen difusiu.

a) Factors intrínsecs a la matèria primera

Prèviament, al subapartat **2.2.1.2.**, s'ha tractat l'efecte del pH sobre la quantitat de sal captada, mostrant-se la seva acció sobre la capacitat de retenció d'aigua, en carn fresca i salada (Hamm, 1986). Aquesta consideració fa pensar que el pH també podria afectar a la difusió de la sal, pel fet que els ions salins es difonen principalment per la fase aquosa. González-Méndez, Gros i Poma (1983) obtingueren valors de D per a la sal molt similars en carns amb pH normal (5,6), amb pH elevat (6,0) i amb un pH baix (5,4). Més recentment, Vestergaard, Risum i Adler-Nissen, al 2004, tampoc trobaren diferències significatives, estudiant la difusió de sal en l'locom, cobrint un ampli rang de pH (de 5,4 a 6,6). Referent a l'efecte del pH sobre la difusió de l'aigua, Gou, Comaposada i Arnau (2002) no observaren diferències significatives pel valor del coeficient D per a l'aigua entre mostres de múscul *Gluteus medius* de pernil amb diferents valors de pH, salades (0,02 kg NaCl/kg H₂O) i assecades a 5 °C i HR 80%: pH < 5,6 ($3,95 \pm 0,53 \times 10^{-11}$ m²/s), pH > 6,2 ($3,83 \pm 0,32 \times 10^{-11}$ m²/s) i pH 5,6–6,2 ($3,99 \pm 0,50 \times 10^{-11}$ m²/s).

Prenent en consideració la composició i l'estructura, com a factors determinants en la difusió de l'aigua i la sal, s'ha de concebre la matriu càrnia del pernil com un sistema sòlid heterogeni,

constituït per teixits muscular, greixós i conjuntiu, ossos i cartílags. Aquestes estructures complexes afecten actuant directament sobre la migració de l'aigua i la dels ions (veure subapartat **2.1.2.2.1.**); o bé de forma indirecta, modificant el seu recorregut. Conseqüentment, el procés difusiu de la sal (i de l'aigua) a través de la matriu càrnia, requereix de dies més que d'hores (Vestergaard i col., 2004).

Godsalve, Davis i Gordon, al 1977, i Thorvaldsson i Skjöldebrand, al 1996, proposaren un model teòric per explicar les diferències observades, en la difusió d'aigua a carn de vedella, en relació amb la direcció de les miofibril·les: si la difusió té lloc perpendicularment a l'eix de direcció de les miofibril·les, el seu valor és entre el 20 i el 25% menor que si l'aigua es mou paral·lelament a elles. Ho atribuïren a la major distància que han de recórrer les molècules d'aigua per difondre's. En un estudi més recent, de Gou i col. (2002), observaren que els valors mitjos de D de l'aigua, quan la seva transferència de massa té lloc perpendicularment a la direcció de les fibres, és gairebé un 30% menor que quan té lloc paral·lelament. Referent al seu efecte sobre la difusió dels ions salins, es podria considerar que, pel fet que aquests es vehiculen a través de la matriu càrnia mobilitzats per aquest solvent, també es podria complir aquesta observació citada. Però, ni a estudis de

Wood (1966), en múscul *Longissimus dorsi* de porc, ni de Djeveh i Gros (1988), a múscul *Semimembranosus* de vedella, s'apreciaren diferències significatives en la difusió de sal entre diferents mostres, considerant la direcció de les fibres.

La difusió de l'aigua i dels ions salins a través dels diferents músculs d'una peça de pernil pot estar més influenciada pel seu contingut de greix intramuscular que per la tipologia de múscul. Així doncs, en estudis de Wistreich, Morse i Kenyon (1959), duts a terme en músculs *Biceps femoris* i *Semitendinosus*, i de Fox (1980), en músculs *Semimembranosus*, *Semitendinosus*, *Rectus femoris* i *Longissimus dorsi*, no s'evidenciaren diferències significatives en la difusió de sal al seu través. En greix subcutani dorsal, Wood (1966) va determinar el valor del coeficient de difusivitat efectiva de la sal, en direcció paral·lela ($0,77 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$) i perpendicular ($0,69 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$) a la superfície externa del pernil, a $-2 \text{ }^\circ\text{C}$. No detectà cap diferència significativa relativa a la direcció de la difusió de la sal a través del greix; però pogué concloure que els valors de D per a la sal obtinguts en greix eren unes 20 vegades menors que els equivalents a la fracció magra, seguint el mateix disseny experimental. Més tard, Fox (1980), en un estudi similar, obtingué uns valors del coeficients D 8 vegades més menors ($0,28 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$) que els corresponents en teixit muscular. Aquests resultats

experimentals ajuden a confirmar que l'absorció de la sal a les peces de pernil es duu a terme, bàsicament, a través de la superfície magra; sent menor la que té lloc a nivell del greix subcutani.

En matrius càrnies picades com pepperoni (Palumbo, Komanowsky, Metzger i Smith, 1977) i sobrassada (Mulet, Berna, Rosselló, Cañellas i López, 1992), s'ha observat un coeficient difusiu per l'aigua menor ($4,7\text{--}5,7$ i $2,9\text{--}5,4 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivament) que el corresponent a músculs salats de pernil (Gou i col., 2002), degut al seu major contingut de greix (des del 13,3% al 25,1%), molt superior a la dels músculs de pernil: *Semimembranosus* ($1,28 \pm 0,41\%$), *Biceps femoris* ($2,33 \pm 0,77\%$) i *Gluteus medius* ($2,06 \pm 0,29\%$).

No s'han trobat estudis sobre l'existència d'un efecte del contingut del greix intramuscular sobre la difusió dels ions salins en peces enteres.

b) Factors implícits al procés de salatge

Wistreich, Morse i Kenyon (1960) avaluaren l'efecte de diferents concentracions de sal en salmorra (25, 50, 100, 150, 250 i 300 g NaCl/l solució; rang de concentracions corresponents als propis de salatge de pernil salat), sobre l'acumulació de sal a la matriu càrnia. Concloueren que la concentració present a la salmorra és la responsable del gradient de concentracions creat en

diferents punts de la matriu càrnia; i, per contra, evidenciaren que el valor del coeficient D no és depenent de la concentració de sal a la salmorra. Resultats similars foren també obtinguts per Vestergaard, Andersen i Adler-Nissen, al 2007, que estudiaren la difusió del sodi a la carn, durant el post-salatge, via radiologia ^{22}Na . Altres estudis realitzats per Djelveh i Gros (1988) i Graiver i col. (2006) evidenciaren que amb un increment gradual de les concentracions a nivell del dipòsit salí (de 30 a 200 g NaCl/l), el valor resultant de la difusivitat efectiva de la sal anava augmentant també progressivament. Ho atribuïren a l'alteració de la ultraestructura de les miofibril·les provocada per la penetració dels ions Na^+ i Cl^- , facilitant la seva difusió a través de la matriu càrnia. I, oposadament, al 1997, Giheneuf, Gibbs i Hall, utilitzant per a la determinació del ió sodi la Ressonància Magnètica d'Imatge (RMI), observaren que el valor de D decreixia exponencialment a mesura que incrementava la concentració de sal a la matriu càrnia (entre 8 i 20 g/kg). Suggestiren que aquesta disminució podria estar lligada amb l'increment de càrrega electrostàtica de les miofibril·les i la dissolució de la miosina provocats per l'acumulació progressiva de NaCl a la matriu càrnia.

En estudis de Gou, Comaposada i Arnau (2004) s'evidencià que finalitzades

les etapes de salatge i post-salatge existia un marcat gradient NaCl/aigua al múscul *Semimembranosus* (SM), des de la regió més en contacte amb el *Biceps femoris* (BF) fins a la superfície. Concloueren que aquest gradient és qui pot facilitar el moviment de l'aigua des de les regions més internes fins a l'exterior de la peça de pernil. En aquest sentit, observaren que el coeficient D per a l'aigua és major a nivell del múscul SM finalitzat el salatge i no existeixen diferències pel coeficient de difusivitat al final del post-salatge entre els músculs SM i BF. No obstant, durant l'assecatge, el coeficient D és major a nivell del múscul BF, malgrat que el gradient de la relació NaCl/aigua és similar entre ambdós músculs. Conseqüentment, per a dur a terme un estudi vàlid de la transferència d'aigua dins la peça de pernil i des d'aquesta a l'aire circumdant és important considerar quina és la quantitat de sal absorbida durant el salatge i la seva distribució durant les etapes posteriors, pel fet que aquests aspectes condicionen la quantitat d'aigua disponible (mesurable a través de l' a_w) que pot ser intercanviada amb l'aire circumdant:

$$W_D = K_G(Y_s - Y) \quad [2.2.2.]$$

on Y_s és la humitat de l'aire en contacte directe amb la superfície del producte; és a dir, la humitat de l'aire en equilibri amb el contingut d'aigua de la matriu

càrnia (en definitiva l' a_w); Y és el contingut d'aigua de l'aire en el flux d'aire de l'assecador i, així doncs, és la humitat a la que ha de tendir la superfície (Y_s) del producte. K_G és el coeficient de transferència de massa. W_D és la quantitat d'aigua extreta per unitat de superfície i de temps ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) del sistema carni. Per tant, el procés d'assecatge està regulat per l' a_w de la superfície; i el coneixement de la relació existent entre el contingut d'aigua i l'aigua disponible (a_w), a través de les *isotermes de sorció* (Figura 2.2.3.), permet predir el temps requerit pel desenvolupament de cada subetapa del procés d'assecatge d'un producte carni, sota unes condicions termohigromètriques determinades.

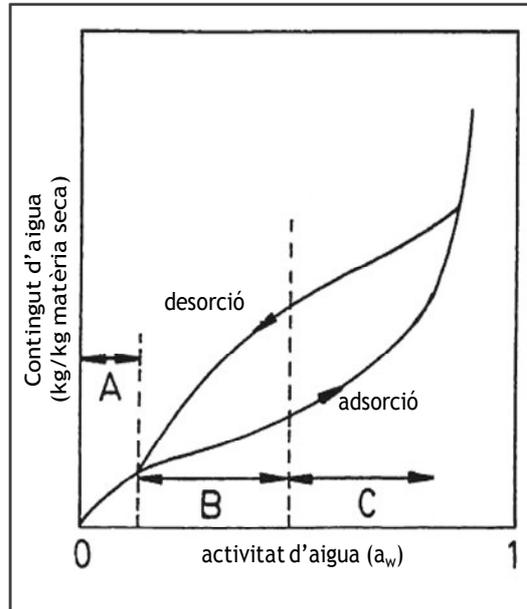
En relació amb tot això citat, Comaposada, Gou i Arnau (2000) estudiaren l'efecte del contingut de sal sobre les *isotermes de desorció*, en mostres de carn salada (0, 8, 20 i 30 g NaCl/100 g base seca) sotmeses a diferents temperatures (5, 13 i 26 °C) i humitats relatives atmosfèriques (de l'11,2 al 94,5%). Detectaren que dins el rang de valors d'activitat d'aigua de 0,75 $\geq a_w \geq 1,00$, per a un determinat valor d' a_w , al incrementar el contingut de sal també augmenta el contingut d'aigua. Per a valors d' a_w inferiors a 0,75 no evidenciaren un efecte del contingut de sal. Aquesta última observació l'atribuïren al fet que per valors baixos

d' a_w , la variació en el contingut d'aigua és deguda primordialment a l'increment de sòlids dissolts causat per la presència de sal. Lioutas, Bechtel i Steinberg (1984) obtingueren resultats similars prèviament en sistemes carnis.

Referent a la presència d'altres ions a la solució de salatge, Pinotti, Graiver, Califano i Zaritzky (2001) observaren com la presència de NaCl facilitava la difusió dels ions nitrat i nitrit. Més recentment Aliño, Grau, Baigts i Barat (2009), en mostres de llom salats en pila amb sal seca constituïda per diferents formulacions de sals inorgàniques (NaCl, KCl, CaCl₂ and MgCl₂), estudiaren la cinètica de penetració i les possibles interferències dels ions existents en cada formulació salina. Evidenciaren que els ions monovalents (Na⁺ i K⁺) tenen una cinètica molt ràpida de penetració durant les primeres hores de salatge i,

posteriorment es frena, per continuar incrementant gradualment. El potassi penetra més ràpidament que el sodi en les barreges de sals NaCl i KCl. En el cas dels ions divalents (Ca²⁺ i Mg²⁺), observaren que la seva penetració a la matriu càrnia és lenta durant els primers estadis del salatge i, posteriorment, incrementa gradualment. També observaren que la presència d'aquests ions divalents a salmorres amb NaCl i/o KCl, disminueix la captació de Na⁺ i/o K⁺ per part de la matriu càrnia.

Figura 2.2.3. Isotermes d'adsorció i de desorció d'un aliment típic on es distingeixen les regions: (A) Monocapa d'aigua lligada químicament a les estructures; (B) Aigua lligada físicament, rodeja la monocapa d'aigua o està unida a petits capil·lars creats dins la matriu alimentària; (C) fracció d'aigua lliure o aigua disponible (modificat de Fortes i Okos, 1980).



c) Factors extrínsecs condicionants del procés de salatge

Wistreich i col. (1959) estudiaren l'efecte de la temperatura (dins el rang de 3 a 40 °C) sobre el procés difusiu, observant que l'acumulació de sals a la matriu càrnia és un fenomen que no manté una relació lineal amb aquest paràmetre físic. Concloueren que dins el rang de temperatures de 3 a 20 °C, una part de l'energia calorífica es destina a incrementar l'energia cinètica de les molècules. Entre els 15 i 20 °C poden

sorgir certes resistències front la seva difusió, sent no específiques per cap ió (ho observaren a tots els ions estudiats: Na⁺, K⁺ i Li⁺). I, finalment, a temperatures superiors als 20 °C, l'acumulació de sal a la matriu càrnia incrementa; quelcom que ho atribuirem a una disminució de la resistència bioquímica a l'entrada d'ions al sistema per part de les estructures que constitueixen la matriu càrnia. Posteriorment, Fox (1980), González-Méndez i col. (1983) i Gros, Dussap i González-Méndez (1984) incorporaren l'aplicació de la relació de Stokes-Einstein, per a determinar l'efecte de la temperatura sobre el valor de *D* addicionant un nou paràmetre: la viscositat del medi difusiu (es pren com a consideració que els ions salins es difonen en la fase aquosa de la matriu càrnia).

2.2.2. El curat de productes carnis picats i fenòmens de transferència de massa

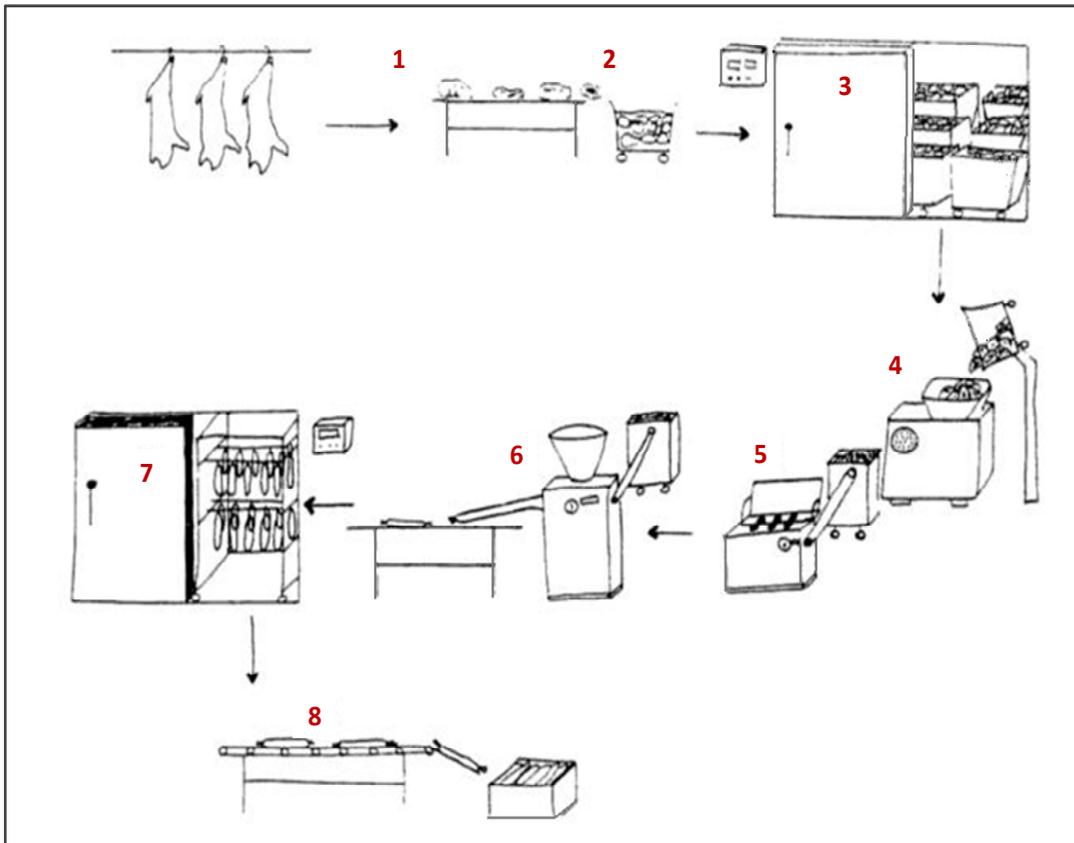
2.2.2.1. El processat de productes carnis picats crus-curats

Existeix una àmplia varietat de productes carnis picats crus-curats fent referència a la diversitat de matèria primera utilitzada, la seva formulació i les condicions de processat assajades; tenint cada producte unes característiques específiques, típiques i peculiars de la regió geogràfica on és

produït: els productes de les regions més del nord europeu tenen valors de pH < 5,0; mentre que una part important dels països de les regions mediterrànies tenen valors de pH compresos entre 5,3 i 6,2 i són més deshidratats (Talon, Leroy i Lebert, 2007). Les seves propietats sensorials estan estretament relacionades amb la durada i les condicions de processat de cada etapa, des de la recepció de la matèria primera fins al producte final.

A grans trets, i deixant de banda aquestes peculiaritats, les llonganisses, com a productes carnis picats crus-curats, són definides com una barreja de carn i greix (habitualment porc), en proporció variable, sal, espècies diverses; incloent sovint sucres i sals nitrificants –nitrat i/o nitrit– (Fontana, Cocconcelli i Vignolo, 2005; Lebert, Leroy, Giammarinaro, Lebert, Chacomac, Bover-Cid, Vidal-Carou i Talon, 2007) i altres additius, i cultius microbiològics iniciadors, principalment per a la producció industrial. La massa picada i homogeneïtzada és embotida dins tripes (naturals o bé artificials), amb elevada permeabilitat a l'aigua i resistència, de diàmetre constant, i fàcilment eliminables (veure **Figura 2.2.4.**). La massa embotida se sotmet a fermentació, fins a un pH desitjat, sent posteriorment assecada i madurada, fins assolir un contingut d'aigua preestablert, a la temperatura i humitat relativa atmosfèri-

Figura 2.2.4. Diagrama de flux del processat de les llonganisses: **1.** recepció, **2.** desossat i trossejat de la matèria primera, **3.** refredament, **4.** picat i amassat, **5.** homogeneïtzació i addició de la resta d'ingredients i additius, i cultius iniciadors (opcional), **6.** embotit, **7.** fermentació i curat/assecatge, **8.** envasament (Font: Tolrà, 2002).



ca més apropiades (Arnau, Serra, Comaposada, Gou i Garriga, 2007). Durant la fermentació, el descens del pH causa l'agregació de les proteïnes miofibril·lars, formant-se un gel. Al llarg de l'estadi posterior (assecatge/maduració), la pèrdua d'aigua per deshidratació de la matriu incrementarà el lligat de la fracció greixosa enmig de l'entramat proteic, finalment adquirint-se les propietats reològiques típiques

d'aquest producte carni.

2.2.2.2. Difusió de sal i aigua a les llonganisses

Quan una matriu alimentària, amb un contingut d'aigua elevat, es posa en contacte amb aire sec amb una temperatura superior a la d'aquest sistema alimentari, tenen lloc dos mecanismes de transport extern

[38]

simultanis (Aversa, Curcio, Calabrò i Iorio, 2007):

- transferència de calor, des de l'aire circumdant al sistema alimentari,
- transferència d'aigua, des de la matriu alimentària a l'aire.

Dins la matriu càrnia, l'aigua migra per difusió. La pèrdua d'aigua, en forma de vapor, a nivell de la part externa de la superfície, causa una deshidratació progressiva del material alimentari.

Conseqüentment es creen gradients de continguts d'aigua a la llonganissa. Aquests gradients provoquen que la sal, distribuïda inicialment de forma homogènia a la massa picada, difongui simultàniament des de les zones on està més concentrada (punts més propers a la superfície) a les que està més diluïda (regions més properes a l'eix longitudinal); tendint-se a un equilibri NaCl/aigua en tota la massa càrnia embotida. Durant aquesta operació bàsica d'assecatge/ maduració, el producte carni en procés té minves de pes, que poden ser utilitzades pel càlcul del contingut d'aigua promig, a la matriu càrnia, a diferents instants d'aquest procés.

Els models per a estudiar la cinètica d'assecatge se solen basar en solucions analítiques de la transferència de massa en estat no estacionari, on el contingut d'aigua s'expressa en base seca, per a una geometria indeterminada (Maroulis,

Kiranoudis i Marinos-Kouris, 1995; Pavón-Meléndez, Hernández, Salgado i García, 2002):

$$\frac{\partial [\rho_d X_{\beta}]}{\partial t} = \nabla \cdot [D_{\beta} \nabla (\rho_{\beta} X_{\beta})] \quad [2.2.3.]$$

L'equació anterior representa el moviment de l'aigua dins la matriu càrnia durant el procés d'assecatge, considerant el volum del producte alimentari. La següent equació:

$$k_{\gamma} \rho_{\gamma} [X_{\gamma} - X_{\beta}] = -n_{\beta\gamma} \cdot D_{\beta} \cdot \nabla (\rho_{\beta} X_{\beta}) \quad [2.2.4.]$$

representa el transport d'aigua des del producte a la interfase producte-aire circumdant.

$$X_{\gamma} = f(X_{\beta}) \quad [2.2.5.]$$

L'equació 2.2.5. considera que el contingut d'aigua present a la interfase producte-aire circumdant està en equilibri amb el contingut d'aigua del producte.

Com a notació d'aquestes equacions, X són els continguts d'aigua en base seca (kg aigua/kg matèria seca), t és el temps (s), ρ_d són les concentracions volumètriques dels constituents de la base seca lliure d'aigua (kg sòlids/m³) i ρ és la densitat de la matriu alimentària (kg/m³); K és el coeficient de transferència de massa (m/s), D és el coeficient efectiu de difusivitat (m²/s), n és el flux difusiu d'aigua a la superfície del producte (kg/m²·s). El subíndex β indica en fase sòlida (al producte que es

va assecant), i γ en la fase gasosa (aire circumdant); finalment el subíndex i indica a la interfase producte-aire.

En els models matemàtics de diversos estudis s'ha considerat les variacions dels materials alimentaris sotmesos a un procés d'assecatge com a dependents de la temperatura local i/o del contingut d'aigua (Kalbasi i Mehraban, 2000; Migliori, Gabriele, de Cindio i Pollini, 2005; Ruiz-López, Córdoba, Rodríguez-Jimenes i Gracia-Alvarado, 2004), resolent-ho per càlcul numèric (diferències finites i elements finits). Dins d'aquestes variacions cal considerar les referents a la grandària de la peça càrnia (retraïment). Mulet (1994) observà que als models on es considera el coeficient de difusivitat de l'aigua i el retraïment s'ajusten millor les estimacions a les dades experimentals.

A l'actualitat existeixen poques referències sobre valors de D per aigua en productes carnis durant l'assecatge: Palumbo i col. (1977) en pepperoni ($4,7-5,7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$); Mulet i col. (1992)

en sobrassada ($2,9-5,4 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$); Motarjemi (1988) en carn picada de vedella ($5,0-53,0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$); Diaferia, Busolli, Zanardi i Palmia (1998) en salami ($0,03-0,37 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$), Palmia i col. (1993) en llom curat ($1,1-2,0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$) i Malet (1999) en pernil curat ($3,43 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$). No s'han trobat referències sobre el valor del coeficient efectiu de difusivitat per la sal durant l'assecatge de productes carnis curats.

Com a opció de monitorització del procés d'assecatge a llonganisses, molt recentment Collell, Gou, Picouet, Arnau i Comaposada (2010) han proposat l'ús de l'espectroscòpia d'infraroig pròxim (NIR) per a dur a terme la predicció de l'activitat d'aigua i els continguts de sal i d'aigua de llonganisses a la superfície durant el procés d'assecatge. Dels resultats s'ha conclòs que aquest mètode no destructiu permet dur a terme una monitorització del contingut d'aigua i de NaCl amb precisió, a la superfície, a llonganisses en curs.

2.3. APROXIMACIÓ MATEMÀTICA DEL PROCÉS DIFUSIU DE LA SAL I L'AIGUA A UNA MATRIU CÀRNIA

Existeixen molts processos aplicats a la indústria càrnia, en els quals les matrius càrnies se sotmeten a operacions bàsiques discontinües i condicions can-

viant. En aquestes situacions la distribució de les concentracions de certs components de la matriu alimentària varien al llarg del temps i en l'espai.

Exemples són els processos d'assecatge i de deshidratació osmòtica, de salatge i desalatge, de curat, operacions de cocció i envasament, entre altres. En tots aquests exemples, els fluxos i les concentracions són dependents del temps (Welti-Chanes, Vergara, Bermúdez, Mújica-Paz i Valdez-Fragoso, 2003). En aquestes operacions s'ha de considerar que substàncies com l'aigua, la sal i les sals nitrificants, fosfats i sucres, entres altres, han de migrar per un medi sòlid, porós, col·loidal i amb capil·laritat. I, conseqüentment, són diversos els mecanismes que governen aquesta transferència de massa.

2.3.1. Les lleis de Fick de la difusió

La difusió pot ser definida com un transport de matèria a escala molecular, a través d'un medi (estanc o amb flux perpendicular al de la substància difonent), provocat per un gradient de concentracions, movent-se la substància difonent des de la regió amb més elevada concentració a altra on hi és present menys concentrada.

En sistemes en equilibri, i en termes de concentracions (C , mol/m³ o bé kg/m³), el flux difusiu molal d'una substància (J , expressat en mol/m²·s o bé, kg/m²·s), dins un medi isotròpic, en una sola direcció corresponent a l'eix x (m), i per unitat d'àrea, està relacionat

amb el seu gradient de concentracions ($\frac{\partial C}{\partial x}$) mitjançant la "Primera Llei de Fick" (Crank, 1975):

$$J = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad [2.3.1.]$$

on D (m²/s) és el coeficient de difusió, i el símbol negatiu, davant el segon terme de l'equació 2.3.1., és requerit pel fet que la difusió es desenvolupa en sentit decreixent del gradient de concentracions de la substància difonent. En condicions no estacionàries, atenent-se al balanç de massa d'aquesta substància que es difon a través d'un medi, cal considerar que existeix una entrada i una generació que equivalen a una sortida i una acumulació de la substància estudiada. En termes molars, seria el següent:

- Entrada, $J_x|_x = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial x}|_x$,
- Generació = 0, considerant que no existeix una reacció química en el procés.
- Sortida, $J_x|_{x+\Delta x} = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial x}|_{x+\Delta x}$,
- Acumulació = $\frac{\partial C}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z$.

Si se substitueix cadascun d'aquests termes a l'equació 2.3.1., dividint pel volum $\Delta x \Delta y \Delta z$ del medi, s'obté la següent equació 2.3.2.:

$$-D \cdot \frac{\frac{\partial C}{\partial x}|_x - \frac{\partial C}{\partial x}|_{x+\Delta x}}{\Delta x} = \frac{\partial C}{\partial t}$$

Si es consideren les concentracions del solut que es difon com C_1 i C_2 , corresponents als punts de l'eix x x_1 i $x_2 = x_1 + \Delta x$, a través d'aquesta *Primera Llei de Fick* es pot determinar la quantitat de solut per unitat de temps que entra a x_1 procedent de x_2 , per unitat d'àrea A (**Figura 2.3.1.**). En termes de flux correspondria a (equació **2.3.3.**):

$$\frac{\delta C}{\delta t} = \frac{A \cdot J_1 - A \cdot J_2}{A \cdot \Delta x} = \frac{J_1 - J_2}{\Delta x} = - \frac{\delta J}{\delta x}$$

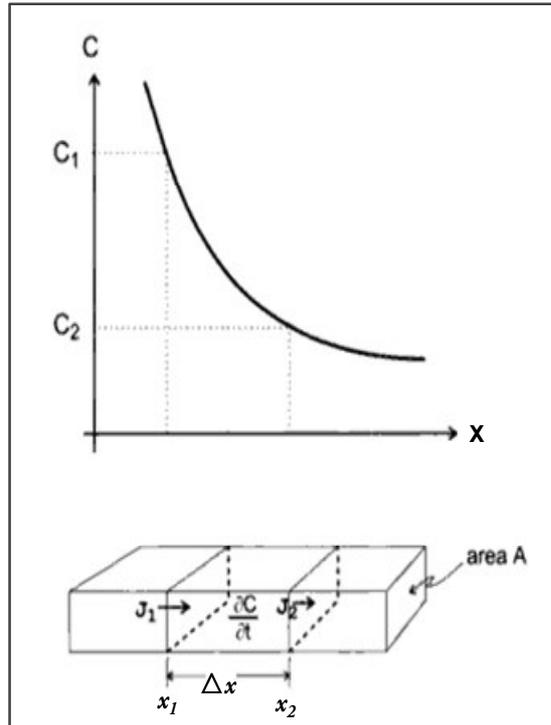
Aquesta indica que la mesura amb la qual les concentracions varien en el temps, a una posició espacial determinada, equival al gradient espacial del flux d'aquesta substància. Si l'equació **2.3.1.**, corresponent a la *Primera Llei de Fick*, s'introdueix dins els termes d'aquesta última equació, s'obté la **2.3.4.**:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = - \frac{\delta}{\delta x} \left(- D \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \right) = \frac{\delta}{\delta x} \left(D \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \right)$$

que esdevé una alternativa de la *Primera Llei de Fick*, considerant la seva dependència explícita del temps. I, davant la no dependència del coeficient de difusió de la concentració de la substància que es difon, ni de la posició, s'obté l'equació corresponent a la *Segona Llei de Fick*, simplificada extraient fora al coeficient de difusió D :

$$\frac{\delta C}{\delta t} = D \cdot \frac{\delta^2 C}{\delta x^2} \quad [2.3.5.]$$

Figura 2.3.1. Perfil de concentracions utilitzat per a il·lustrar la Segona Llei de Fick (Font: Wilkinson, 2000).



Crank, al 1975, va aplicar aquesta equació diferencial per estudiar la difusió de l'aigua a geometries preestablertes. L'equació **2.3.5.**, descrita per a un cilindre infinit (simulant un producte carni embotit), és la següent:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = D \cdot \frac{l}{r} \cdot \frac{\delta}{\delta r} \left(r \cdot \frac{\delta C}{\delta r} \right) \quad [2.3.6.]$$

on r és la coordenada radial. En aquest cas infinit, la transferència de massa té lloc en la direcció radial i no en la axial.

També pot ser descrita per a una làmina 3D, considerada un cas finit (equació **2.3.7.**):

$$\frac{\delta C}{\delta t} = D \times \left(\frac{\delta^2 C}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 C}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 C}{\delta z^2} \right)$$

Aquestes equacions poden ser utilitzades per a obtenir la concentració d'un solut, en funció del temps i de la posició; sent principalment aplicables a la difusió de substàncies a través de medis sòlids. I, consegüentment, a través de la seva aplicació, es redueix el problema considerant només la difusió en una direcció.

Moltes publicacions actuals sobre transferència de massa en enginyeria alimentària utilitzen les *Lleis de Fick* per a estimar el coeficient de difusivitat d'una substància que es difon a través d'una matriu alimentària durant una operació bàsica determinada. Les apliquen de manera diferent (Doulia, Tzia i Gekas, 2000), tot dependent de les dades a tractar i les condicions experimentals preestablertes (Crank, 1975), fent ús de solucions analítiques de la *Segona Llei de Fick* (Wistreich i col., 1959; Andújar i Tarrazo, 1981; González-Méndez i col., 1983; Gros i col., 1984; Djelveh i Gros, 1988) i de càlcul numèric (Lomauro i Bakshi, 1985; Mulet, Berna i Rosselló, 1989; Puri i Anantheswaran, 1993; Amendola i Queiroz, 2007).

Referent als valors del coeficient D , aquests varien en diversos ordres de magnitud en funció del material

alimentari, de la temperatura i del mètode experimental utilitzats; divergència deguda, en part, a la composició del sistema alimentari i als canvis estructurals que es donen a la matriu càrnia durant diversos estadis del processat (Gekas, 1992).

Per una banda, a la **Taula 2.3.1.** es recullen alguns exemples de coeficients D per a la sal, en diferents matrius càrnies, obtinguts per estudis previs; i per altra banda, a la **Taula 2.3.2.**, es mostren altres corresponents a l'aigua, també en aquest grup d'aliments.

Cal destacar que en molts casos fent una aplicació de la *Llei de Fick* s'assumeix que el material és uniforme en estructures i grandària (no existeix una modificació de les dimensions durant el processat), homogeni en les concentracions de la substància que es difon i que no existeix una interferència d'altres components al moviment difusiu de la substància estudiada. En aquesta última afirmació, quan existeix difusió simultània de diverses substàncies que especialment difereixen en grandària molecular i en la seva transferència de massa, pel fet que és en sentit oposat, i una transferència de massa interfereix a l'altra, existeix una limitació en l'aplicació de la *Primera Llei de Fick*, segons Taylor i Krishna (1993).

Taula 2.3.1. Valors de D_{NaCl} en matriu càrnia de porc i vedella, obtinguts per diversos autors.

REFERÈNCIA BIBLIOGRÀFICA	MÈTODE EXPERIMENTAL	ORIGEN DE LA MOSTRA EXPERIMENTAL *	TEMPERATURA (°C)	D_{NaCl} ($m^2/s \times 10^{-10}$)
Wistreich i col. (1959)	cilindres/absorció de sal	BF porc	3	2,12
		RF porc		2,51
		ST porc		2,22
		SM porc		2,41
Wood (1966)	cilindres/absorció de sal	LD porc	-2	1,40
		LD longitudinal	-2	1,20
		LD transversal	-2	1,20
		LD	12	2,20
		LD	25	3,60
		SM greix subcutani	16-23	2,90
			-2	0,07
Andújar i Tarrazo (1981)	cilindres/absorció de sal	LD porc	2-4	3,30
González-Méndez i col. (1983)	cilindres/absorció de sal - perfil de concentracions	LD porc	2	2,15
Gros i col. (1984)	cilindres/absorció de sal - perfil de concentracions	LD porc fresc	2	2,19
		LD cong.L/ desc.L	2	2,81
		LD cong.R/ desc.L	2	2,76
		LD cong.L/ desc.R	2	2,40
		LD cong.R/ desc.R	2	2,38
Fox (1980)	cel·la de difusió	SM porc	2	1,98-2,22
Djelveh i Gros (1988)	cel·la de difusió	ST vedella	25	7,69 (20 g/L) 6,47 (40 g/L) 7,15 (60 g/L) 7,17 (100 g/L) 8,73 (200 g/L)
Djelveh i Gros (1988)	cel·la de difusió	LD porc longitudinal	3,2	1,80
			6,1	2,40
			10	2,60
			13	2,80
			15	2,90
			20,5	3,20
25,5	4,00			

* BF = *Biceps femoris*, RF = *Rectus femoris*, ST = *Semitendinosus*, SM = *Semimembranosus*, LG = *Longissimus dorsi*; cong. = congelat, desc. = descongelat; L = tall longitudinal, R = tall radial.

Taula 2.3.2. Valors de D_{aigua} en matrius càrnies sotmeses a un procés d'assecatge, obtinguts per diversos autors.

REFERÈNCIA BIBLIOGRÀFICA	ORIGEN DE LA MOSTRA EXPERIMENTAL*	CONTINGUT DE NaCl O AIGUA (kg /kg base seca)	TEMPERATURA (°C)	D_{aigua} ($\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-11}$)
Gou i col. (2002)	GM salat	0,08 (sal)	5	$2,55 \pm 0,88$
	SM salat	0,08 (sal)		$2,10 \pm 0,61$
	BF salat	0,08 (sal)		$2,03 \pm 0,49$
Gou i col. (2003)	GM fresc	—	5	$4,40 \pm 0,17$
	GM salat	$8,70 \pm 1,20$ (sal)		$2,00 \pm 0,10$
	GM salat	$22,80 \pm 2,10$ (sal)		$1,20 \pm 0,42$
	GM salat	$30,10 \pm 2,30$ (sal)		$1,30 \pm 0,11$
Ruiz-Cabrera i col. (2004)	SM fresc	1,4-2,6 (aigua)	12	3,00-250
			16	
			20	
Simal, Femenia, Garcia-Pascual i Rosselló (2003)	sobrassada	0,509 (inicial, aigua) 0,017-0,242 (final, aigua)	14	1,07

* BF = *Biceps femoris*, GM = *Gluteus medius*, SM = *Semimembranosus*.

2.3.2. Aplicació de l'equació de Stefan-Maxwell en processos difusius

Fins al moment s'ha considerat, amb les lleis fickianes, que el procés difusiu té lloc essencialment en un medi homogeni. Sota aquests termes, en cas que es difonguin dues substàncies (components i i j) o més en un mateix medi i simultàniament, la difusió de cada component, obeint a les lleis fickianes, s'ha d'estudiar de forma dependent:

$$J_i = -D_{ii} \cdot \frac{\delta C_i}{\delta x} - D_{ij} \cdot \frac{\delta C_j}{\delta x} \quad [2.3.12.]$$

$$J_j = -D_{jj} \cdot \frac{\delta C_j}{\delta x} - D_{ij} \cdot \frac{\delta C_i}{\delta x} \quad [2.3.13.]$$

Així doncs, segons les equacions 2.3.12. i 2.3.13., el flux del component i és depenent del seu gradient de concentracions i també de l'efecte sobre el seu procés difusiu que li pot exercir el gradient de concentracions del component j . Quelcom també aplicable, viceversa, pel component j . Aquestes interaccions són difícils de determinar amb les lleis fickianes. I per tant cal desplaçar-se cap a altres solucions matemàtiques per a una determinació més vàlida de la transferència de massa a nivell de sistemes multicomponents.

Krishna, al 1987, va també considerar que una altra limitació de la Llei de Fick

aplicada a matrius alimentàries és que, si per concentracions de NaCl iguals o inferiors que 0,6% (p/p) el gradient de concentracions és la força motriu, per concentracions superiors la interacció entre components que es difonen causa un comportament no ideal fickià. I, en aquest últim cas, l'aplicació de l'Equació de Stefan-Maxwell (GMS) seria la més adequada per estudiar el moviment difusiu. Un clar exemple és durant el salatge de productes carnis de peça entera, on l'aigua i els ions salins migren en direccions oposades; o bé durant l'assecatge de productes carnis, que durant els últims estadis d'aquest període, malgrat existir una relació NaCl/aigua homogènia a tota la peça, existeix un gradient d'aigua entre les regions superficials i les més internes (Gou i col., 2004).

Diversos autors han proposat l'ús d'aquesta equació a sistemes alimentaris. Entre ells citar Boudhrioua, Bonazzi i Daudin (2002), en gelatina; Pakowski, Gou i col. (2004) en pernil curat; i Gerla i Rubiolo (2003) i Payne i Morison (1999), en formatges.

Segons aquest model matemàtic, en un sistema de dos components, denominats i i j , que es difonen pel medi, la força d'equilibri sobre el component i és la següent (Krishna i Wesselingh, 1997):

$$-\frac{d\mu_i}{dz} = \frac{R \cdot T}{\mathcal{D}} \cdot x_j (u_i - u_j) \quad [2.3.14.]$$

on $\frac{d\mu_i}{dz}$ és el força impulsora de la transferència de massa del component i deguda al gradient de potencial químic (μ) en la direcció z , a temperatura i pressió constants; x és la fracció molar per aquest component i u és la velocitat del transport en la direcció z . El terme $\frac{R \times T}{\mathcal{D}}$ cal interpretar-lo com un coeficient de resistència. En aquest últim, el coeficient de difusivitat de Stefan-Maxwell (\mathcal{D}) té unitats de m^2/s i, segons el seu significat físic, és invers al citat coeficient de resistència. Si multipliquem els dos termes de l'equació

2.3.14. per $\frac{x_i}{R \times T}$, obtenim l'equació

2.3.15.:

$$-\frac{x_i}{R \cdot T} \frac{\partial \mu_i}{\partial z} \Big|_{p,T=const} = \frac{x_i \cdot x_j \cdot u_i - x_j \cdot x_i \cdot u_j}{\mathcal{D}_{ij}}$$

Arranjant aquesta equació utilitzant la definició per fluxos molars:

$$J_i = C_i \cdot x_i \cdot u_i \quad [2.3.16.]$$

S'obté el vector de generalització de l'Equació de Stefan-Maxwell com segueix:

$$-\frac{x_i}{R \cdot T} \frac{\partial \mu_i}{\partial z} \Big|_{p,T=const} = \frac{x_i \cdot J_j - x_j \cdot J_i}{C \mathcal{D}_{ij}} \quad [2.3.17.]$$

on J és el flux molar; C és la concentració i \mathcal{D} el coeficient de difusivitat segons l'Equació de Stefan-Maxwell.

Per analogia, l'equació 2.3.17. es pot convertir en l'anomenada *Equació de Fick multicomponent*, com s'escriu a continuació:

$$J_i = -C \sum_{j=1}^{n-1} D_{ij} \frac{dx_j}{dz} \quad [2.3.18.]$$

considerant que el coeficient de difusivitat fickià $D = D \cdot \Gamma$, on Γ és un factor de correcció termodinàmic pels comportaments no ideals dels components que es difonen, estant relacionat amb la composició de medi. Usant una notació de matrius de dimensions $(n-1)$ components, l'equació GMS també es pot escriure com (equació 2.3.19.):

$$(J) = -C_t \cdot [B]^{-1} \cdot [\Gamma] (\nabla x) = -C_t \cdot [D] (\nabla x)$$

on (J) representa el vector columna de fluxos molars de $(n-1)$ components, $[B]$ és el vector de relació entre fraccions molars i difusivitats dels components; i $[\Gamma]$ és la relació matricial d'activitats molars (γ) dels components del sistema, com a factor termodinàmic prèviament

descriu. Els elements de la matriu $[B]$ són:

$$B_{ii} = \frac{x_i}{D_{in}} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{x_k}{D_{ik}},$$

$$B_{ij(i \neq j)} = -x_i \left(\frac{1}{D_{ij}} - \frac{1}{D_{in}} \right)$$

$$\Gamma_{ij} = \delta_{ij} + x_i \cdot \frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial x_j} \quad [2.3.20.]$$

on $i, j = 1, 2, \dots, n-1$ components que es difonen en el sistema.

Centrant-se en els fenòmens de transferència de massa que tenen lloc durant el salatge i l'assecatge de productes carnis, es pot considerar l'existència d'un sistema constituït per 3 components: aigua/sal/carn, on un d'ells no es difon (la matriu càrnia). La utilització de l'*Equació de Stefan-Maxwell* per a sistemes multicomponent permetria estudiar la difusió simultània d'aigua i sal i les seves interferències, considerant que es mouen en sentits oposats (Boudhrioua i col., 2002).

2.4. REDUCCIÓ DEL CONTINGUT DE SODI A PRODUCTES CARNIS I EFECTES SOBRE EL SEU PROCESSAT

Unes propietats funcionals que converteixen la sal en un ingredient essencial pel processat de productes carnis evidencien la necessitat de cercar solucions diverses a nivell de processos de selecció de matèria primera i de siste-

mes de transformació (formulació i processat) per a poder elaborar productes carnis amb contingut reduït de NaCl, però que mantinguin la qualitat del seu homòleg amb un contingut "normal" de sal.

Dins les estratègies més utilitzades citar les següents:

- Disminució de la quantitat de sal adicionada a la matriu càrnia.
- Substitució total o parcialment NaCl amb altres sals.
- Utilització de potenciadors del gust salat.
- Modificació física de la forma de la sal.

A continuació es farà una revisió centrant-se, exclusivament, en les tres primeres estratègies. Es descriuran quins són els efectes observats sobre aspectes tecnològics i les característiques dels productes carnis finals, derivats de la seva utilització.

2.4.1. Disminució de la quantitat de sal adicionada a una matriu càrnia

Olson, al 1982, va observar que, per a conservar les característiques d'un producte carni sense minvar els seus aspectes de textura, estabilitat microbiològica i de flavor, només es poden dur a terme reduccions màximes del 25% del seu contingut de sal. Malgrat aquesta afirmació, estudis més recents (Ruusunen i Puolanne, 2005; Guàrdia, Guerrero, Gelabert, Gou i Arnau, 2006) consideraren que l'acceptació del producte final amb reducció del

contingut de NaCl està supeditada tant al contingut original de sal al producte com a la ingesta de sal, a través de la dieta, que duu a terme la població consumidora en estudi.

En pernil ibèric, Andrés i col. (2004) estudiaren la influència de diferents nivells de sal sobre la qualitat sensorial d'aquest producte carni. Observaren que una disminució del 6 al 3% (p/p) de percentatge de sal adicionada permetia obtenir pernills menys salats i amb unes característiques d'aroma millors que les de pernills amb major contingut; i que malgrat que eren menys secs, durs i fibrosos, el grau de pastositat no es veia significativament afectat per la reducció del contingut de sal. Aquest últim punt (grau de pastositat) també fou observat, en pernills curats que contenien un 3% NaCl en base seca, per part de García-Garrido i col. (2000).

Referent a productes carnis crus-curats picats, Pētāja, Kukkonen i Puolanne (1985) conclogueren que un contingut final del 2,50% és el límit inferior per a obtenir productes tipus salami amb una qualitat acceptable; i si es redueix fins al 2,25% disminueix la seva fermesa, i també el seu aroma característic esdevé menys intens. No es pot assolir una major reducció del contingut de sal pel fet que es requereix dur a terme una disminució de l'activitat d'aigua, per assolir l'estabilitat microbiològica del producte final. La

fermentació, però, també hi juga un paper clau (Ruusunen i Puolanne, 2005).

Partint d'aquests continguts orientatius mínims de NaCl per a l'obtenció de productes carnis cruscurats acceptables, diversos estudis s'han encaminat en la cerca d'estratègies per a assolir una major disminució del contingut de sal, sense minvar aspectes relatius a la qualitat del producte, actuant a nivell de la selecció de la matèria primera, de les operacions i condicions de processat i en la formulació:

2.4.1.1. Selecció de la matèria primera

Diferents estudis (Gou i col., 1995; Guerrero, Gou, Alonso i Arnau, 1996; García-Rey, Quiles-Zafra i Luque de Castro, 2006) han evidenciat una estreta relació entre les característiques de la matèria primera (gruixària del greix subcutani, contingut de greix intramuscular i conformació del pernil) i diferents paràmetres de textura (pastositat i adhesivitat) i el color del tall.

Altres recerques han estudiat la relació existent entre el pH i diversos paràmetres de textura i color (Poma, 1991; Buscailhon, Berdagué, Gandemer, Touraille i Monin, 1994; Arnau i col., 1998; Guerrero, Gou i Arnau, 1999).

Recentment, al 2004, García-Rey i col. establiren el valor de pH de 5,55 com a punt de tall entre peces de pH normal i peces de pH baix. Malgrat que els pernills de pH < 5,55 presentaven més problemes de pastositat ($p < 0,001$), no observaren textura tova; també mostraven, en major quantitat, un color anòmal a la llesca, i encrostat, posseïen menys contingut d'aigua i més sal i nitrogen no proteic (Arnau i col., 1997; Virgili, Parolari, Schivazappa, Soresi-Bordini, & Borri, 1995). Concloueren que el pH és un paràmetre vàlid per a fer una selecció de la matèria primera. I, en cas d'elaborar pernills amb peces de pH < 5,5, cal fer les modificacions pertinents a nivell de les etapes posteriors (principalment durant el salatge, treballant basant-se en el càlcul de possibles minves de pes i en el contingut de sal que s'ha d'addicionar) per a millorar la qualitat del producte final. Ruiz-Ramírez i col. (2006) obtingueren resultats similars en pernills amb pH_{245M} baix (inferior a 5,7), amb més elevada proteòlisi, menys duresa i alta cohesivitat, a nivell de la superfície, que els de $pH_{245M} > 6,2$. Els pernills curats amb baixa proteòlisi, per contra, tenien la superfície més dura, sent més susceptibles a presentar encrostat. I, conseqüentment, arribaren a una conclusió molt similar: per a obtenir la textura desitjada al producte final (és a dir, la millor combinació índex proteolític/contingut d'aigua), és essen-

cial partir del coneixement del pH de les peces de pernil per a decidir quina és la quantitat mínima de sal a afegir.

2.4.1.2. Modificació de les operacions de processat

Pel fet que la sal és un ingredient multifuncional en l'elaboració de pernil curat, afectant tant a la seva qualitat com a la seva estabilitat microbiològica, la reducció del contingut de sal exigeix la utilització de tècniques que facilitin l'absorció i la distribució de la sal dins la matriu càrnia. Així doncs, la utilització de pernils desossats reestructurats, en els quals s'ha eliminat la cotna, el greix d'embolcall i ossos, s'ha escindit els diferents grups musculars, per a salar-los i curar-los a un bombo de massatge al buit; i posteriorment s'han unit els del mateix pernil, amb l'enzim transglutaminasa com a agent de lligat (De Jong i Koppelman, 2002; Yokoyama, Nio i Kikuchi, 2004), envasant el conjunt al buit (Arnau i col., 2007). Serra, Gou, Fulladosa, Costa-Corredor i Arnau (2007) i Fulladosa, Serra, Gou i Arnau (2009) han utilitzat recentment aquesta tècnica, en pernils curats amb contingut reduït de sal.

2.4.1.3. Canvis en la formulació del producte

Ruusunen, Vainionpää, Lyly, Lähteenmäki, Niemistö, Ahvenainen i Puolanne (2005) estudiaren l'efecte del

percentatge de greix i de magre sobre la intensitat i la percepció del gust salat en productes carnis cuits amb contingut reduït en sal. Observaren que era necessària l'addició de major quantitat de sal en peces de carn més magres que en les que tenien un contingut més elevat de greix. Conseqüentment conclogueren que la intensitat del gust salat i el contingut de greix estan correlacionats positivament; i oposadament, un augment en el contingut de carn (porció magra) disminueix la percepció del gust salat. En conseqüència, l'elaboració de productes carnis baixos en sal i en greix ha de centrar-se en la cerca de solucions per a resoldre aquesta problemàtica organolèptica i, alhora, també tecnològica (relacionada amb la disminució del lligat del greix i aigua, per part de les proteïnes miofibril·lars, per reducció de la sal addicionada).

2.4.2. Substitució total o parcial de NaCl amb altres sals

És molt difícil trobar substàncies que puguin substituir eficientment el flavor i les propietats funcionals del clorur sòdic. Existeix un llistat d'estudis que han observat els efectes de la substitució total o parcial del contingut de sal d'un producte carni amb diferents sals clorades (KCl, CaCl₂ i MgCl₂) i sals no clorades (lactat, diacetat, fosfat i glutamat, ascorbat). Aquests assajos han

intentat respondre diferents interrogants relacionats amb aspectes com la percepció disminuïda de la intensitat del gust salat, d'apreciació de gustos metàl·lics, amargs o astringents; referents a l'aparició de colors i textures no desitjades que poden condicionar l'acceptació del producte final; i també esbrinar fins a quin percentatge de substitució no minva l'estabilitat microbiològica del producte carni. A continuació es van detallant aquests aspectes.

2.4.2.1. Sals inorgàniques no sòdiques

Les sals inorgàniques més utilitzades en productes carnis amb contingut reduït de NaCl són els compostos clorats de potassi, calci i magnesi.

Considerant les demandes en qualitats tecnològica i organolèptica dels productes carnis, el KCl és la sal substituïda més utilitzada en aquests aliments, pel fet que posseeix les funcionalitats pròpies del NaCl (Askar, Elsamahy, Shehata i Tawfik, 1993).

No existeixen molts estudis sobre la utilització de les sals clorades de calci i magnesi en productes carnis.

La sal clorada de liti (LiCl) aporta gust salat, però és tòxica a les quantitats que hauria de ser addicionada com a substituïda de NaCl (Hand, Terrell i Smith, 1982).

a) Aspectes relacionats amb l'absorció i la distribució dels ions salins

Referent a estudis relacionats amb la cinètica de penetració de diversos ions salins (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} i Mg^{2+}), procedents de sals inorgàniques durant els processos de salatge i curat de productes carnis amb reducció del contingut de sodi, només s'han trobat, com a referències, estudis molt recents: Aliño i col. (2009a) en llom curat, i Blesa, Aliño, Barat, Grau, Toldrà i Pagán (2008) en pèril curat.

Aliño i col. (2009a) estudiaren l'efecte de diverses formulacions de sals clorades (6 tractaments de curat diferents) sobre la cinètica de penetració i acumulació de Na^+ a la matriu càrnia. Observaren uns resultats divergents en funció dels percentatges de sals utilitzats pel curat; però, en totes elles, una substitució parcial de NaCl afectava a la difusió del NaCl i de l'aigua. Lloms amb percentatges de substitució elevats de KCl (50%) disminuïa la pèrdua d'aigua. A diferència, quan s'addicionava CaCl_2 i MgCl_2 com a sals de substitució, els lloms exhibien minves de pes superiors que les de lloms sotmesos a formulacions on només s'havia utilitzat KCl com a substituïda de NaCl. Ho atribuïren a diferències en la velocitat de penetració dels diferents ions: la densitat de càrrega del K^+ és menor que la del Ca^{2+} i Mg^{2+} , quelcom que facilita a l'ió K^+ una penetració més ràpida a través de la matriu càrnia (conclusions similars a les

d'estudis de Blesa i col., 2008). La presència de l'ió K^+ no afecta la cinètica de penetració del Na^+ quan es duu a terme un 50% de substitució parcial de NaCl per KCl. I observaren que l'ús de les sals clorades de Ca^{2+} i Mg^{2+} com a substituïts disminueix la captació de Na^+ i K^+ en l'el·lenc salat.

b) Modificacions relacionades amb les etapes de processat

Blesa i col. (2008) estudiaren els canvis fisicoquímics i microbiològics durant el post-salatge de pernils, salats amb les dues formulacions de sals inorgàniques 50%(NaCl):50%(KCl) i 55%(NaCl):25%(KCl):15%(CaCl₂):5%(MgCl₂), comparant-ho amb pernils control (100% NaCl). Transcorreguts 50 dies de post-salatge, observaren que els pernils sotmesos als dos tractaments de salatge modificat posseïen valors d'activitat d'aigua superiors que els de pernils control, a les corresponents regions musculars analitzades. Confirmaren, consegüentment, la necessitat de perllongar l'estadi de post-salatge, per assolir una disminució de l'activitat d'aigua (és a dir, incrementar la seva estabilitat microbiològica) als pernils reduïts en contingut de sal i parcialment substituït per sals inorgàniques de calci i magnesi. Atribuïren aquestes diferències a la menor velocitat de penetració dels cations divalents calci i magnesi, deguda a la seva major densitat de càrrega.

Concloqueren que un període de 80 dies de post-salatge era suficient per a assegurar una estabilitat microbiològica factible per a iniciar el procés d'assecatge i maduració.

c) Modificacions relacionades amb els mecanismes bioquímics lligats al processat de productes carnis

Armenteros, Aristoy i Toldrà (2008) estudiaren l'efecte de la substitució de NaCl amb sals clorades de calci, magnesi i potassi, en l'el·lenc curat, sobre aspectes proteolítics. Observaren que mentre el KCl exerceix un efecte similar al NaCl: inhibició a altes concentracions, i activació a baixes concentracions sobre diferents enzims proteolítics; les sals divalents de magnesi i calci són requerides en menor concentració per a mostrar el mateix efecte inhibitori a enzims amb activitat catepsina (especialment catepsina H), dipeptidilpeptidasa (corresponent a les I, III i IV) i aminopeptidasa (activitats leucil i alanil). Els mateixos autors apunten que aquestes observacions des de la vessant bioquímica, i pel fet que afecten als paràmetres de textura, flavor i d'aparença (formació de cristalls de tirosina degut a un excés de proteòlisi), cal considerar-les a l'hora d'utilitzar sals d'ions divalents com a substituïts de NaCl en productes carnis.

Més recentment, Armenteros, Aristoy, Barat i Toldrà (2009), també en

lloms curats, observaren que alguns enzims proteolítics (catepsines B i B+L i aminopeptidases arginil i leucil) són més actius quan en la formulació s'addiciona més KCl que NaCl (70% KCl i 30% NaCl). Les activitats metionilaminopeptidasa i dipeptidilpeptidasa I i III són proporcionalment inhibides per KCl a mesura que aquesta sal incrementa el seu percentatge en la barreja de sal addicionada (fins a un 70%). Pel fet que no observaren diferències en aspectes organolèptics, amb les substitucions plantejades, i que els lloms amb un 50% KCl eren més acceptats organolèpticament, els autors plantegen la possibilitat de dur a terme una substitució de NaCl per KCl, fins a un 50%, en altres productes carnis com el pernil curat.

d) Aspectes relatius a l'estabilitat microbiològica del producte final

Des de la vessant microbiològica, KCl té un efecte bacteriostàtic equivalent al de NaCl a la mateixa proporció molar, segons estudis in vitro de Bidlas i Lambert (2008). En llom curat, salat en diferents formulacions de les sals NaCl i KCl, Aliño, Grau, Toldrà, Blesa, Pagán i Barat (2009) observaren igual efecte inhibidor del KCl que el NaCl sobre bacteris patogènics com *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* i *Shigella*, i d'indicadors de contaminació fecal (enterobacteris i coliformes fecals). Referent als recomptes microbiològics de

bacteris halotolerants i de l'àcid làctic, desitjables per aquesta tipologia de producte cru-curat, aquests també eren similars entre lloms tractats amb les diferents formulacions de les sals i els lloms control (100% NaCl).

Blesa i col. (2008), en pernils curats, salats en les dues formulacions de sals inorgàniques 50%(NaCl):50(KCl) i 55%(NaCl):25%(KCl):15%(CaCl₂):5%(MgCl₂) observaren que els recomptes entre els pernils control i els salats amb les barreges de sals no presentaven diferències significatives. Destacar que 50 dies després de finalitzar el salatge, evidenciaren que el recompte de bacteris de l'àcid làctic era superior en pernils control que en la resta. Conseqüentment concloueren que la barreja de sals ofería un major efecte inhibidor front la proliferació microbiana.

e) Atributs sensorials i acceptació del producte final amb contingut de sodi reduït

El KCl ha estat utilitzat en pernils cuits amb un 50% de substitució de NaCl aportant un lligat excel·lent de les peces musculars i una adequada acceptació del producte (Frye, Hand, Calkins, & Mandigo, 1986).

En pernils premsats i llescats, Collins (1997) no observà variacions en la qualitat organolèptica i en la ternesa, utilitzant formulacions de barreges de

sals 70%(NaCl):30%(KCl) o bé 70%(NaCl):30%(MgCl₂), tenint els productes una acceptabilitat comparable a la de pernills elaborats amb 100% NaCl com a sal d'addició. Però concludí que el seu ús és limitat: apareixen problemes de flavors no desitjats quan s'addicionen quantitats superiors a 1 g sal substituït per cada 100 g producte.

Segons resultats de Gou, Guerrero, Gelabert i Arnau (1996) en llonganisses, practicant una substitució de fins al 30% de NaCl amb KCl, el panell d'experts no observà diferències respecte el producte convencional. A partir d'aquest percentatge, i a mesura que s'incrementava fins assolir una substitució del 40%, es percebia un augment del gust amarg. Aquests resultats foren posteriorment corroborats per estudis de Gelabert, Gou, Guerrero i Arnau (2003), per aquest mateix producte carni. Més recentment, un estudi de Guàrdia, Guerrero, Gelabert, Gou i Arnau, del 2008, dut a terme en llonganisses de petit calibre (40 mm), observà l'efecte de la reducció al 50% del contingut de NaCl i la seva substitució parcial amb KCl i K-lactat, atenent a diferents relacions molars (del 0 al 50% de substitució, amb només un substituït o en combinació dels dos prèviament citats), sobre atributs sensorials i grau d'acceptació del producte final. Observaren que en llonganisses amb una substitució molar de fins el 50% amb KCl,

la intensitat del color curat era similar a la del control (100% NaCl). En allò referent a atributs de gust i flavor, avaluaren una major percepció d'amargor en llonganisses on s'havia aplicat una substitució parcial amb KCl. En aquest mateix estudi, en relació als atributs de textura, observaren que la substitució molar amb KCl fins a un 50% no afectava a la cohesivitat, la pastositat i la fluïdesa del greix.

Gimeno, Astiasarán i Bello (1998), en llonganisses, assajaren una barreja de 1,00%(NaCl):0,55%(KCl):0,23%(MgCl₂):0,46%(CaCl₂) com a estratègia per a disminuir el contingut de sodi del producte. Assoliren una reducció a la meitat del contingut de NaCl, però observaren un increment de l'acidificació i de l'activitat d'aigua, una disminució de la intensitat del color vermell i menys acceptabilitat del producte final (atribuint-ho a la disminució del gust salat).

En l'om curat, estudis recents d'Aliño i col. (2009b) sobre la influència d'una substitució fins al 70% del NaCl per KCl, assajant a diferents formulacions 100% (NaCl), 65%(NaCl):35%(KCl), 50%(NaCl):50%(KCl) i 30%(NaCl):70%(KCl), observaren menys pèrdues de pes als llocs tractats amb una proporció de KCl durant les etapes de salatge i post-salatge. Conclouren que aquest fet es pot explicar mitjançant la major velocitat de penetració de l'ió potassi respecte la de

l'ió sodi. Els llocs amb una proporció superior de KCl en la seva formulació (70%) eren significativament més durs, i de més difícil masticació; quelcom que relacionaren amb un contingut menor d'aigua a la peça curada i assecada.

Malgrat que tots aquests estudis citats apunten al KCl com un bon substitut de NaCl en productes carnis, considerar que la seva ingesta ha de ser limitada en cas de pertànyer a certs col·lectius poblacionals de risc: diabètics tipus I, malalts amb insuficiència renal crònica i altres patologies renals. Com a referència, la ingesta diària recomanada d'aquest mineral per a adults és de 4,7 g (Antonios i MacGregor, 1997; US Department of Health and Human Service, 2005).

2.4.2.2. Sals orgàniques sòdiques

Les sals de sodi de fosfat, lactat, ascorbat, diacetat o glutamat aporten, per un mateix pes, una menor quantitat de sodi que el NaCl. Els seus corresponents àcids orgànics poden ser utilitzats per a reduir el pH i, així doncs, millorar l'estabilitat microbiològica del producte. Aquests dos fets les posicionen com una alternativa a la substitució parcial de sal en productes alimenticis.

En diversos estudis s'han avaluat els efectes d'aquestes sals (Ruusunen i col., 2005; Terrell, 1983; Puolanne i Terrell, 1983) sobre la qualitat dels aliments.

La indústria càrnia utilitza predominantment sals sòdiques i potàssiques de lactat, pels seus beneficis:

- Reducció de l'activitat d'aigua,
- Possessió d'un efecte específic sobre el control de la microbiota alteradora, així com de la patògena, en cas que n'existeixi (Pipek, Houska, Jelenikova, Kyhos, Hoke i Sikulova, 2005; Anderson i Marshall, 1989; Prasai, Acuff, Lucia, Morgan, May i Savell, 1992; Velugoti, Rajagopal, Juneja i Thippareddi, 2007), en addicions de l'ordre del 1-3% al producte final. Aquest contingut s'ha considerat suficient per allargar la fase de latència dels microorganismes esporulats; limitant, doncs, el creixement microbià. La seva acció bacteriostàtica resta explicada pel fet que es pot incorporar dins la cèl·lula microbiana. Allí pot actuar a dos nivells: té la capacitat d'interferir o alentir la glucòlisi, ruta metabòlica per a l'obtenció d'ATP; i per altra banda, té la capacitat de disminuir l'activitat d'aigua (a_w) a la matriu càrnia, quelcom que també afecta a la proliferació microbiana.
- En allò referent a les característiques organolèptiques, la seva addició millora el color de la carn fresca (Suman, Mancini, Joseph, Ramanathan, Konda, Dady, Naveena i López-López, 2010; Kim, Keeton,

Smith, Maxim, Yang i Savell, 2010; Kim, Keeton, Hunt i Savell, 2010), protegint la mioglobina de l'oxidació ràpida deguda a la baixada de pH durant el *post-mortem*; millora el gust, reduint els flavors associats a l'oxidació de greixos, i també la sucositat i la tendresa.

- Incrementa el pH (Miller, 1998).

Malgrat el seu ús per part de la indústria alimentària, gairebé no existeixen estudis sobre l'efecte de les sals de lactat sobre la ultraestructura de la carn. Astruc, Labas, Venduvre, Martin i Taylor (2008) estudiaren l'efecte de l'addició de K-lactat i NaCl en diferents proporcions sobre la histologia i la ultraestructura de carn procedent de diferents espècies animals. Observaren una heterogeneïtat en el comportament miofibril·lar en funció de l'origen animal de la carn.

El fet que el lactat sòdic tingui aproximadament un 50% menys d'ió Na⁺ en la seva formulació química, respecte al NaCl, fa possible la seva utilització com a substitut de la sal. Malgrat tot, el seu menor gust salat dificulta la substitució total de NaCl per lactat sòdic des del punt de vista organolèptic. El lactat potàssic posseeix les mateixes característiques tecnològiques que el lactat sòdic i, a més, per si sol, és capaç de mantenir el gust salat dels productes carnis amb un contingut reduït de NaCl (Miller, 1998). Ressaltar que el múscul de

porc té uns 800–900 g de glicogen emmagatzemat. Durant un estrès intens, com el que es produeix durant el sacrifici, més d'1/6 part és utilitzada per a l'obtenció d'energia en forma d'ATP, en situació anaeròbica, produint-se àcid L-làctic via glicogenòlisi. Aquest àcid és el causant de la baixada del pH des de valors dins 7,2–7,4 fins a 6,2–5,5, tot depenent del contingut de glicogen de les fibres musculars, l'espècie, el tipus de múscul al qual pertanyen, etc. (Puolanne, Pöso, Ruusunen, Sepponen i Kylä-Puhju, 2002).

a) Modificacions relacionades amb les etapes de processat

Cercar estratègies que facilitin l'absorció i distribució de les sals durant les primeres etapes de processat (salatge i post-salatge) ajuda a accelerar l'estabilitat microbiològica del producte en curs, principalment quan s'afegeix menys quantitat de NaCl. A tal fi, Fulladosa i col. (2009), per a obtenir pernils curats reduïts en sodi (15 g NaCl/kg peça) i addicionar K-lactat com a sal substitut (39,74 g/kg d'una solució comercial de K-lactat al 60%, p/v), plantejaren salar pernils desossats, posteriorment reestructurats amb transglutaminasa (veure subapartat **2.3.1.2.**). Conseqüentment assoliren una reducció del gruix de la peça (és a dir, una disminució del recorregut dels ions salins per a la seva distribució) i una

millor distribució inicial de les sals, facilitant-se la seva absorció. Els pernills foren posteriorment post-salats a 3 ± 2 °C fins l'assoliment d'una minva de pes del 30% (requerit un període de 120 dies). Sota aquestes condicions de processat, concloueren que l'addició de K-lactat en la quantitat aplicada no té efectes negatius significatius sobre la textura, color i gust; en excepció de certa tendència a incrementar la pastositat dels pernills tractats (ho atribuïren a l'increment de pH observat) i a incrementar la percepció de la intensitat del gust salat i, oposadament, a disminuir la dolçor, comparant-la amb els només reduïts en contingut de sal.

b) Estabilitat microbiològica del producte final

Gimeno, Astiasarán i Bello (2001) estudiaren els efectes d'utilitzar diverses formulacions de NaCl i ascorbat càlcic per a l'obtenció de llonganisses amb contingut reduït de NaCl. L'ús d'ascorbat càlcic causà una major acidificació de la matriu càrnia respecte les llonganisses control, que atribuïren a una major proliferació de bacteris de l'àcid làctic fermentadors, i a la pròpia presència de calci. Referent a recomptes de microorganismes patògens (*Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* i *Salmonella*) i indicadors (enterobacteris) no observaren diferències

respecte els de les controls (2,6% NaCl).

c) Modificacions relatives a atributs sensorials i d'acceptació del producte final

Guàrdia i col. (2008), en llonganisses de petit calibre (40 mm), amb reducció del 50% del contingut de NaCl, observaren que a mesura que incrementava la substitució molar de NaCl per K-lactat (des del 0 al 50%, en combinació amb KCl) incrementava l'acidesa; i, alhora, es disminuïa progressivament la intensitat del gust salat i de curat. En relació amb els paràmetres de textura, observaren que a mesura que la substitució molar de K-lactat s'incrementava, les llonganisses mostraven menys duresa i cohesivitat i augmentava la seva pastositat. En termes referents a l'acceptació del producte final, concloueren que només les llonganisses amb menys substitució de K-lactat (0 i 10%) lograren una acceptació equivalent a les control. L'acceptació de la resta fou menor. Anteriorment, en estudis de Gelabert i col. (2003) i de Gou i col. (1996) s'havia conclòs que l'acceptació en flavor i textura era l'adequada fins l'assoliment d'una substitució major per aquest mateix producte carni: 30% molar de K-lactat.

Destacar que no s'han trobat estudis relatius a l'efecte de la presència de sals orgàniques sobre la cinètica de

penetració dels ions Na⁺ i Cl⁻, durant el salatge i post-salatge de productes carnis amb contingut reduït de sodi; ni tampoc sobre el seu efecte sobre la dinàmica d'assecatge de productes carnis amb reducció del contingut de NaCl i l'ús d'aquestes sals com a substituïts; ni de quin efecte té l'addició de sals orgàniques sobre els mecanismes bioquímics propis del processat de productes carnis crus-curats.

2.4.3. Utilització de potenciadors del gust salat

Existeix un ventall ampli de compostos que, per ells sols, no posseeixen gust salat, però que utilitzats en combinació amb NaCl tenen la propietat

d'augmentar la intensitat d'aquest gust o bé, inclús, millorar la palatabilitat de l'aliment (Phelps, Angus, Clegg, Kilcast, Narain i Ridder, 2006). Actuen activant receptors del gust de la boca i del paladar, ajudant a compensar la disminució de la percepció del gust salat per la reducció del contingut de sal (Brandsma, 2006).

El lactat potàssic, a més de plantejar-se com un possible substituït del NaCl, és un potenciador del gust salat en solució; permetent-se utilitzar en productes carnis (llonganisses i llom de porc curat) amb una reducció de fins el 30 i 40% del contingut de sal, respectivament, sense observar-se efectes negatius en el flavor, segons estudis de Gou i col. (1996).

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Adamsen, C.E., Møller, J. K. S., Laursen, K., Olsen, K., & Skibsted, L. H. (2006). Zn-porphyrin formation in cured meat products: Effect of added salt and nitrite. *Meat Science*, 72(4), 672-679.
- Aliño, M., Grau, R., Baigts, D., & Barat, J. M. (2009a). Influence of sodium replacement on the salting kinetics of pork loin. *Journal of Food Engineering*, 95(4), 551-557.
- Aliño, M., Grau, R., Toldrà, F., Blesa, E., Pagán, M. J., & Barat, J.M. (2009b). Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. *Meat Science*, 83(3), 423-430.
- Amendola, M., & Queiroz, M. R. (2007). Mathematical methodologies for calculation the mass diffusion coefficient of bananas during drying. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, 11(6), 623-627.
- Anderson, M. E., & Marshall, R. T. (1990). Reducing microbial population on beef tissues: concentration and temperature of lactic acid. *Journal of Food Safety*, 10(3), 181-190.
- Andrés, A. I., Cava, R., Martín, D., Ventanas, J., & Ruiz, J. (2005). Lipolysis in dry-cured ham: Influence of salt content and processing conditions. *Food Chemistry*, 90(4), 523-533.

- Andrés, A. I., 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.
- Andújar, G., & Tarrazo, J. (1981). The rate of penetration of salt into meat. *Fleischwirtschaft*, 61(9), 1366-1367.
- Antonios, T. F. T., & MacGregor, G. A. (1997). Scientific basis for reducing salt (sodium) content in food products. In A. M. Pearson & T. R. Dutson (Eds.), *Production and processing of healthy meat, poultry and fish products. Advances in meat research series* (Vol. 11, pp. 84-100). London: Chapman & Hall.
- Armenteros, M., Aristoy, M. C., & Toldrá, F. (2008). Effect of sodium, potassium, calcium and magnesium chloride salts on porcine muscle proteases. *European Food Research and Technology*, 229(1), 93-98.
- Armenteros, M., Aristoy, M. C., Barat, J. M., & Toldrá, F. (2009). Biochemical changes in dry-cured loins salted with partial replacements of NaCl by KCl. *Food Chemistry*, 117(4), 627-633.
- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado elaborado por procesos acelerados. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinària. Espanya.
- Arnau, J. (2007). Tecnología de salazón de jamones: Factores y elementos de control. *IV Congreso Mundial del Jamón*. Salamanca, 2007, pp. 219-233.
- 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(4), 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(2), 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(3), 387-392.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, G., & Gou, P. (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry-cured hams during processing. *Food Chemistry*, 52(1), 63-69.
- Arnau, J., Serra, X., Comaposada, J., Gou, P., & Garriga, M. (2007). Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products. *Meat Science*, 77(1), 81-89.
- Askar, A., Elsamahy, S. K., Shehata, H. A., & Tawfik, M. (1993). Pasterma and beef bouillon – The effect of substituting KCl and K-lactate for sodium chloride. *Fleischwirtschaft*, 73(3), 289-292.
- Astruc, T., Labas, R., Vendeuvre, J. L., Martin, J. L., & Taylor, R. G. (2008). Beef sausage structure affected by sodium chloride and potassium lactate. *Meat Science*, 80(4), 1092-1099.
- Aversa, M., Curcio, S., Calabrò, V., & Iorio, G. (2007). An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 922-932.
- Barat, J. M., Vidal-Brotón, D., López-Pascual, E., & Gras, M. L. (2006). Quantification and kinetics of the residual brine generation during ham and shoulder pile salting. *Meat Science*, 73(4), 576-580.
- Barbuti, S., & Parolari, G. (2002). Validation of manufacturing process to control pathogenic bacteria in typical dry fermented products. *Meat Science*, 62(3), 323-329.

- Bee, G., Anderson, A. L., Lonergan, S. M., & Huff-Lonergan, E. (2007). Rate and extent of pH decline affect proteolysis of cytoskeletal proteins and water-holding capacity in pork. *Meat Science*, 76(2), 359-365.
- Berdagué, J. L., Denoyer, C., Le Quere, J. L., & Semon, E. (1991). Volatile components of dry-cured ham. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(7), 1257-1261.
- Betts, G., Everis, L., & Betts, R. (2007). Microbial issues in reducing salt in food products. En: D. Kilcast i F. Angus (eds.). *Reducing salt in foods* (pp. 174-200). CRC Press LLC, Boca Raton, Finland.
- Beuchat, L. R. (1983). Influence of water activity on growth, metabolic activities, and survival of yeasts and molds. *Journal of Food Protection*, 46(2), 135-141.
- Bidlas, E., & Lambert, R. J. W. (2008). Comparing the antimicrobial effectiveness of NaCl and KCl with a view to salt/sodium replacement. *International Journal of Food Microbiology*, 124(1), 98-102.
- Blesa, E., Aliño, M., Barat, J. M., Grau, R., Toldrà, F., & Pagán, M. J. (2008). Microbiology and physico-chemical changes of dry cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts. *Meat Science*, 78(1-2), 135-142.
- Boadas, C., Gou, P., Guàrdia, M. D., y Arnau, J. (2000). Efecto de la dextrosa y de dos sistemas de inoculación de un cultivo iniciador en las propiedades sensoriales del jamón curado. II Simposium Internacional del Jamón curado. Eurocarne, 90-91.
- Boudhrioua, N., Bonazzi, C., & Daudin, J. D. (2002). Moisture and salt profiles analysis during a diffusion process at constant temperature. In: *Drying 2002 - Proceedings of the 13th International Drying Symposium* (IDS 2002), Beijing, China, 27-30, vol. A. p. 209.
- Boziaris, I. S., Skandamis, P. N., Anastasiadi, M., Nychas, G. J. E. (2007). Effect of NaCl and KCl on fate and growth/no growth interfaces of *Listeria monocytogenes* Scott A at different pH and nisin concentrations. *Journal of Applied Microbiology*, 102(3), 796-805.
- Brandsma, I. (2006). Reducing sodium: a European perspective. *Food Technology*, 60(3), 25-29 (disponible a 31/01/2010 a la URL: <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/133F3789A-1084-4DFA-89D4-23D6889A54FD/0/0306sodium.pdf>).
- Brewer, M. S., & McKeith, F. K. (1999). Consumer rated quality characteristics as related to purchase intent of raw pork. *Journal of Food Science*, 64(1), 171-174.
- Brewer, M. S., Rostogi, B. K., Argoudelis, L., & Sprouls, G. K. (1995). Sodium Lactate/Sodium Chloride effects on aerobic plate counts and color of aerobically packaged ground pork. *Journal of Food Science*, 60(1), 58-62.
- Buscailhon, S., Berdagué, J. L., & 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(1), 69-75.
- Buscailhon, S., Berdagué, J. L., Gandemer, G., Touraille, C., & Monin, G. (1994). Effects of initial pH on compositional changes and sensory traits of French dry-cured hams. *Journal of Muscle Foods*, 5(3), 257-270.
- Callow, E. H. (1947). The action of salt and other substances in the curing of bacon and ham. *British Journal of Nutrition*, 1(2-3), 269-274.
- Careri, M., Mangia, A., Barbieri, A., Bolzoni, L., Virgili, R., & Parolari, G. (1993). Sensory property relationships to chemical data of italian-type dry-cured ham. *Journal of Food Science*, 58(5), 968-972.

- Chizzolini, R., Rosa, P., & Novelli, E. (1993). Biochemical and microbiological events of Parma ham production technology. *Microbiologia SEM (Sociedad Española de Microbiología)*, 9, 26–34.
- Cilla, I., Martínez, L., Beldrán, J. A., & Roncalés, P. (2006). Dry-cured ham quality and acceptability as affected by the preservation system used for retail sale. *Meat Science*, 73(4), 581–589.
- Cilla, I., Martínez, L., Beltrán, J. A., & Roncalés, P. (2005). Factors affecting acceptability of dry-cured ham throughout extended maturation under “bodega” conditions. *Meat Science*, 69(4), 789–795.
- Collell, C., Gou, P., Picouet, P., Arnau, J., Comaposada, J. (2010). Feasibility of near infrared spectroscopy to predict a_w and moisture and NaCl contents of fermented pork sausages. *Meat Science*, 85(2), 325–330.
- Collins, J. E. (1997). Reducing salt (sodium) levels in process meat poultry and fish products. . In A. M. Pearson & T. R. Dutson (Eds.), *Production and processing of healthy meat, poultry and fish products. Advances in meat research series* (Vol. 11, pp. 283–297). London: Chapman & Hall.
- Comaposada, J., Gou, P., & Arnau, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55(3), 291–295.
- Córdoba, J. J., Antequera, T., García, C., Ventanas, J., López-Bote, C., & Asensio, M. A. (1994). Evolution of free amino acids and amines during ripening of Iberian cured ham. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(10), 2296–2301.
- Córdoba, J. J., Antequera, T., Ventanas, J., López-Bote, C., García, C., & Asensio, M. A. (1994). Hydrolysis and loss of extractability of proteins during ripening of iberian ham. *Meat Science*, 37, 217–227. *Food Science and Technology*, 13, 398–419.
- Council Regulation (EC) No. 509/2006 of 20 March 2006 on agricultural products and foodstuffs as traditional specialities guaranteed. *Official Journal of the European Union*, 31.3.2006, L 93/1–11.
- Coutron-Gambotti, C. & Gandemer, G. (1999). Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing. *Food Chemistry*, 64(1), 95–101.
- Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion. Clarendon Press, Oxford.
- De Jong, G. A. H., & Koppelman, S. J. (2002). Transglutaminase catalyzed reactions: Impact on food applications. *Journal of Food Science*, 67(8), 2798–2806.
- Diaferia, C., Busolli, C., Zanardi, S., & Palmia, F. (1998). Sorption isotherms and diffusion coefficient of water in salami. In: *Proceedings of the 44th International Congress of Meat Science and Technology*, Vol. II, pp. 878–879, Barcelona, Spain.
- Directive 2000/13/EC of the European Parliament and of the Council of 20 March 2000 on the approximation of the laws of the Member States to the labelling, presentation and advertising of foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 6.5.2000, L 109/29.
- Djelveh, G., & Gros, J. B. (1988). Measurement of effective diffusivities of ionic and non-ionic solutes through beef and pork muscles using a diffusion cell. *Meat Science*, 23, 11–20.
- Doulià, D., Tzia, K., & Gekas, V. (2000). A knowledge base for the apparent mass diffusion coefficient (DEFF) of foods. *International Journal of Food Properties*, 3(1), 1–14.
- Duché, O., Trémoulet, F., Glaser, P., & Labadie, J. (2002). Salt stress proteins induced in *Listeria*

- monocytogenes*. *Applied Environmental Microbiology*, 68(4), 1491-1498.
- Fennema, O., & Carpenter, J. (1984). Water activity in muscle and related tissues. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*, 37, 19-21.
- Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Aranda-Catalá, V. (2000). Effect of mincing degree on colour properties in pork meat. *Color Research & Application*, 25(5), 376-380.
- Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J. A., & Aranda-Catalá, V. (2004). Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Research & Application*, 29(1), 67-74.
- Flores, J., Bermell, S., & Nieto, P. (1983). Nota previa. Índices de salinidad y curado: posibles parámetros de calidad para el jamón curado. *Revista de Agroquímica y tecnología de alimentos*, 32(3), 433-438.
- Flores, J., Nieto, P., Bermell, S. & Miralles, M. C. (1985). Cambios en los lípidos de1 jamón durante el proceso de curado, lento y rápido y su relación con la calidad. *Revista Agroquímica y de Tecnología de los Alimentos*, 25(1), 117-124.
- Flores, M., Aristoy, M. C., & Toldrá, F. (1993). HPLC purification and characterization of porcine muscle aminopeptidase B. *Biochimie*, 75(10), 861-867.
- Foegeding, E. A., & Lanier, T. C. (1996). Characteristics of edible muscle tissues. En: O. R. Fennema (Ed.), *Food chemistry* (3rd ed.) (pp. 879-942). New York: Marcel Dekker.
- Fontana, C., Cocconcelli, P. S., & Vignolo, G. (2005). Monitoring the bacterial population dynamics during fermentation of artisanal Argentinean sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 103(2), 131-142.
- Fortes, M., & Okos, M. R. (1980). Drying theories: their bases and limitations as applied to food and grains. En: A.S. Mujundar (ed.). *Advances in Drying* (pp. 119-154). Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- Fox, J. B. (1980). Diffusion of chloride, nitrite and nitrate in beef and pork. *Journal of Food Science*, 45(6), 1740-1744.
- Frentz, J. C., & Zert, P. (1990). L'encyclopédie de la charcuterie, Dictionnaire encyclopédique de la charcuterie (3rd ed.), Soussana: Orly, Paris.
- Frye, C. B., Hand, L. W., Calkins, C. R., & Mandigo, R. W. (1986). Reduction or replacement of sodium chloride in a tumbled ham product. *Journal of Food Science*, 51(3), 836-837.
- FSA. (2008). Consumer attitudes to food standards. Wave 8 UK report final. London (disponible a 19/01/2010 a la URL: <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/cas2007ukreport.pdf>).
- Fulladosa, E., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J. (2009). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science*, 82(2), 213-218.
- Gandemer, G. (1999). Lipids and meat quality: lipolysis, oxidation, maillard reaction and flavour. *Sciences des Aliments*, 19 (3-4), 439-458.
- Gandemer, G. (2002). Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products. *Meat Science*, 62(3), 309-321.
- García, C., Berdagué, J. J., Antequera, T., López-Bote, C., Córdoba, J. J., & Ventanas, J. (1991). Volatile components of dry cured Iberian ham. *Food Chemistry*, 41 (1), 23-32.
- García-Esteban, M., Ansorena, D., Gimeno, O., & Astiasarán, I. (2003). Optimization of instrumental colour

- analysis in dry-cured ham. *Meat Science*, 63(3), 287-292.
- García-Garrido, J. A., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J., & Luque de Castro, D. (2000). Activity of cathepsin B, D, H and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56(1), 1-6.
- García-Regueiro, J. A., & Diaz, I. (1989). Changes in the composition of neutral lipids in subcutaneous and muscle fat during the elaboration process of Spanish cured ham. Proceedings of the 35th International Congress of Meat Science and Technology, Copenhagen, pp. 719-723.
- García-Rey, R. M., 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(4), 625-632.
- García-Rey, R. M., Quiles-Zafra, R., & Luque de Castro, M. D. (2006). Relationships of genotype and slaughter time with the appearance and texture of dry-cured hams. *Food Chemistry*, 94(2), 271-277.
- Gekas, V. G. (1992). Transport phenomena of foods and biological materials. Boca Raton, CRC Press, Finland.
- Gelabert, J., Gou, P., Guerrero, L., & Arnau, J. (2003). Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages. *Meat Science*, 65(2), 833-839.
- Gerla, P. E., & Rubiolo, A. C. (2003). A model for determination of multicomponent diffusion coefficients in foods. *Journal of Food Engineering* 56(4), 401-410.
- Gil, M., Gispert, M., & Sárraga, C. (1991). Cathepsin D activity as an index of curing time for spanish dry cured ham. 37th IcoMST, 360-364.
- Gimeno, O., Astiasarán, I., & Bello, J. (1998). A mixture of potassium, magnesium, and calcium chlorides as a partial replacement of sodium chloride in dry fermented sausages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4372-4375.
- Gimeno, O., Astiasarán, I., & Bello, J. (2001). Calcium ascorbate as a potential partial substitute for NaCl in dry fermented sausages: effect on colour, texture and hygienic quality at different concentrations. *Meat Science*, 57(1), 23-29.
- Godsalve, E. W., Davis, E. A., & Gordon, J. (1977). Effect of oven conditions and sample treatment on water loss of dry cooked bovine muscle. *Journal of Food Science*, 42(5), 1325-1330.
- González-Méndez, N., Gros, J. B., Poma, J. P. (1983). Mesure et modélisation des phénomènes de diffusion lors du salage de la viande. *Viandes et Prod. Carnés*, 4(1), 35-41.
- Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2003). NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the Gluteus medius muscle of pork ham. *Meat Science*, 63(1), 29-34.
- Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2004). Moisture diffusivity in the lean tissue of dry-cured ham at different process times. *Meat Science*, 67(2), 203-209.
- Gou, P., Guerrero, L., & Arnau, J. (1995). Sex and crossbreed effects on the characteristics of dry-cured ham. *Meat Science*, 40(1), 21-31.
- Gou, P., Guerrero, L., Gelabert, J., & Arnau, J. (1996). Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin. *Meat Science*, 42(1), 37-48.
- Gou, P., Morales, R, Serra, X., Guàrdia, M. D., & Arnau, J. (2008). Effect of a 10-day ageing at 30 °C on the texture of dry-cured hams processed at temperatures up to 18 °C in relation to raw meat pH and salting time. *Meat Science*, 80(4), 1333-1339.

- Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2002). Meat pH and meat fibre direction effects on moisture diffusivity in salted ham muscles dried at 5 °C. *Meat Science*, 61(1), 25–31.
- Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., & Zaritzky, N. (2006). Diffusion of sodium chloride in pork tissue. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 910–918.
- Gray, J. I., & Pearson, A. M. (1984). Cured Meat Flavour. *Advances in Food Research*, 29, 1–86.
- Grimes, C. A., Riddell, L. J., & Nowson, C. A. (2009). Consumer knowledge and attitudes to salt intake and labelled salt information. *Appetite*, 53(2), 189–194.
- Gros, J. B., Dussap, C. G., & González-Méndez, N. (1984). Solute diffusivities in meat. A review. En: *Engineering and Food*. Vol. 1. *Engineering Sciences in the food industry*. Ed. Brian; Mc.Kenna, Elsevier Applied Science Publisher, Yanmouth.
- Guàrdia, M. D., Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., & Arnau, J. (2008). Sensory characterisation and consumer acceptability of small calibre fermented sausages with 50% substitution of NaCl by mixtures of KCl and potassium lactate. *Meat Science*, 80(4), 1225–1230.
- Guàrdia, M. D., Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., & Arnau, J. (2006). Consumer attitude towards sodium reduction in meat products and acceptability of fermented sausages with reduced sodium content. *Meat Science*, 73(3), 484–490.
- Guàrdia, M. D., Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., & Arnau, J. (2008). Sensory characterisation and consumer acceptability of small calibre fermented sausages with 50% substitution of NaCl by mixtures of KCl and potassium lactate. *Meat Science*, 80(4), 1225–1230.
- 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(3), 267–273.
- Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P., & 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(4), 526–530.
- Guiheneuf, T. M., Gibbs, S. J., & Hall, L. D. (1997). Measurement of the inter-diffusion of sodium ions during pork brining by onedimensional Na-23 magnetic resonance imaging (MRI). *Journal of Food Engineering*, 31(4), 457–471.
- Hajmeer, M., Ceylan, E., Marsden, J. L., & Fung, D. Y. C. (2006). Impact of sodium chloride on *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* analysed using transmission electron microscopy. *Food Microbiology*, 23(5), 446–452.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurement. En: P. J. Bechtel (Ed.). *In Muscle as Food* (pp. 135). New York, Academic Press.
- Hand, L. E., Terrell, R. N., Smith, G. C. (1982). Effects of complete or partial replacement of sodium chloride on processing and sensory properties of hams. *Journal of Food Science*, 47 (6), 1776–1778.
- Hansen, C. L., van der Berg, F., Ringgaard, S., Stødkilde-Jørgensen, H., & Karlsson, A. H. (2008). Diffusion of NaCl in meat studied by ¹H and ²³Na magnetic resonance imaging. *Meat Science*, 80(3), 851–856.
- Hutton, T. (2002). Sodium: technological functions of salt in the manufacturing of food and drinks products. *British Food Journal*, 104(2), 126–152.
- IFR (2005). Microbial risks associated with salt reduction in certain food.

- Options for the preservation. Technical report. Institute of Food Research, Norwich (UK) (disponible a 19/01/2010 a la URL: <http://www.salt.gov.uk>).
- Ilian, M. A., Bekhit, A. E., & Bickerstaffe, R. (2004). The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging. *Meat Science*, 66(2), 387–397.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). Chapter 3: Intrinsic and extrinsic parameters of foods that effect microbial growth (p. 46). En: *Modern Food Microbiology*. 7th edition. Springer Science/Business Media, New York.
- Jensen, L. B. (1944). Microbial problems in the preservation of meats. *Bacteriological Reviews*, 8(3), 161–188.
- Kalbasi, M., & Mehraban, M. R. (2000). The effect of surface water vapour flux on drying of potato. *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*, Part C, 78, 204–206.
- Kim, Y. H., Keeton, J. T., Hunt, M. C., & Savell, J. W. (2010). Effects of L- or D-lactate-enhancement on the internal cooked colour development and biochemical characteristics of beef steaks in high-oxygen modified atmosphere. *Food Chemistry*, 119(3), 918–922.
- Kim, Y. H., Keeton, J. T., Smith, S. B., Maxim, J. E., Yang, H. S., & Savell, J. W. (2010). Evaluation of antioxidant capacity and colour stability of calcium lactate enhancement on fresh beef under highly oxidising conditions. *Food Chemistry*, 115(1), 272–278.
- Krishna, R. (1987). Diffusion in multicomponent electrolyte solutions. *Chemical Engineering Journal*, 35, 19–24.
- Krishna, R., & Wesselingh, J. A. (1997). The Maxwell-Stefan approach to mass transfer. *Chemical Engineering Science*, 52(6), 861–911.
- Lebert, I., Leroy, S., Giammarinaro, P., Lebert, A., Chacornac, J. P., Bover-Cid, S., Vidal-Carou, M. C., & Talon, R. (2007). Diversity of microorganisms in the environment and dry fermented sausages of French traditional small units. *Meat Science*, 76(1), 112–122.
- Leistner, L., & Gorris, L. G. M. (1995). Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science & Technology*, 6(2), 41–46.
- Leistner, L., & Gould, G. W. (2003). Solute and low water activity. En: Russel, N. J., & Gould, G. W. (Eds.). *Food Preservatives*. (pp. 119–140). 2nd. Edition. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Lenovich, L. M. (1987). Survival and death of microorganisms as influenced by water activity. En: Rockland, L. B. & Beuchat, L. R. *Water activity: theory and applications to food* (pp 119–135). Marcel Dekker, Inc., New York.
- León-Crespo, F., Galán-Soldevilla, H., Peralta-Fernández, A., Ciudad-González, N., Balderas-Zubeldia, B., Céspedes-Sánchez, F., Martín-Serrano, A., & Torres-Muñoz, M. C. (1997). La salazón del jamón: bases para una tecnología racional. *Cárnica 2000*, Julio, 33–51.
- 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(6), 1382–1385.
- Lomauro, C. J., & Bakshi, A. S. (1985). Finite element analysis of moisture diffusion in stored foods. *Journal of Food Science*, 50(2), 392–396.
- López, M. O., de la Hoz, L., Cambero, M. I., Gallardo, E., Reglero, G., & Ordóñez, J. A. (1992). Volatile compounds of dry hams from Iberian pigs. *Meat Science*, 31(3), 267–277.

- Maggi, E., & Oddi, P. (1988). Prosciutti 'PSE': possibilitá di stagionatura. Indagini preliminari. *Industria Alimentaria*, 27, p. 448.
- Malet, I. (1999). Difusivitat efectiva de l'aigua en els músculs *Semimembranosus* i *Biceps femoris* en pernil curat al final del procés d'assecat. Tesina. Escola Politècnica Superior. Universitat de Lleida, Espanya.
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121.
- Maroulis, Z. B., Kiranoudis, C. T., & Marinou-Kouris, D. (1995). Heat and mass transfer modeling in air drying of foods. *Journal of Food Engineering*, 26(1), 113-130.
- Marshall, S., Bower, J. A., & Schroder, M. J. A. (2007). Consumer understanding of UK salt intake advice. *British Food Journal*, 109(3), 233-245.
- Martín, L., Antequera, T., Córdoba, J. J., Timón, M. L., & Ventanas, J. (1998). Effects of salt and temperature in proteolysis during ripening of Iberian ham. *Meat Science*, 49(2), 145-153.
- Matulis, R. J., McKeith, F. K., Sutherland, J. W., & Brewer, M. S. (1995). Sensory characteristics of frankfurters as affected by fat, salt and pH. *Journal of Food Science*, 60(1), 42-47.
- Migliori, M., Gabriele, D., de Cindio, B., & Pollini, M. C. (2005). Modelling of high quality pasta drying: mathematical model model and validation. *Journal of Food Engineering*, 69(4), 387-397.
- Miller, R. (1998). Functionality of non-meat ingredients used in enhanced pork. *National Pork Board. Facts Pork Quality* (pp. 1-12). American Meat Science Association.
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM, 2010). Alimentación. Especialidades Tradicionales Garantizadas. Especialidad Tradicional Garantizada del Jamón Serrano (Disponible a 22/01/2010 a la URL: <http://www.mapa.es/es/alimentacion/pags/etg/JamonSerrano.htm>).
- Mittal, G. S., Blaisdell, J. L., & Herum, F. L. (1982). Diffusion dynamics of sodium and chloride ions: During cooking of meat emulsion slab. *Lebensmitt-Wissenschaft und Technologie*, 15, 275-280.
- Møller, J. K. S., Jakobsen, M., Weber, C. J., Martinussen, T., Skibsted, L. H., & Bertelsen, G. (2003). Optimisation of colour stability of cured ham during packaging and retail display by a multifactorial design. *Meat Science*, 63(2), 169-175.
- Moreiras, O., Carbajal, A., & Cuadrado, C. (2007). Tabla de composición de alimentos. 11ª edición. Colección Ciencia y Técnica. Ediciones Pirámide (Grupo Anaya), S.A. Madrid.
- Motarjemi, Y. (1988). A study of some physical properties of water in foodstuffs. Water activity, water binding and water diffusivity in minced meat products. Tesi Doctoral. Lund University. Lund, Sweden.
- Motilva, M. J., Toldrá, F., Nieto, P., & Flores, J. (1993). Muscle lipolysis phenomena in the processing of dry-cured ham. *Food Chemistry*, 48(2), 121-125.
- Mulet, A. (1994). Drying modeling and water diffusivity in carrots and potatoes. *Journal of Food Engineering*, 22(1-4), 329-348.
- Mulet, A., Berna, A., & Rosselló, C. (1989). Drying of carrots. I. En: Drying models. *Drying Technology*, New York, v.7, n.3, pp. 537-557.
- Mulet, A., Berna, A., Rosselló, C., Cañellas, J., & López, N. (1992). Influence of fat content on the drying of meat products. En: *Proceedings 8th International Drying Symposium* (Vol. B; pp. 844-853). Montreal, Quebec, Canada.

- Nieto, P. (1988). Aportaciones a la tecnología del jamon curado: cambios químicos, físicos y sensoriales durante los procesos de curado lento y rápido. Tesi Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia, Espanya.
- Offer, G., & Knight, P. (1988). Chapter 3: The structural basis of water-holding in meat. Part 1: General Principles and Water Uptake in Meat Processing. London: Lawrie, R. En: *Developments in Meat Science - 4* (pp. 63-171). Elsevier Science Publishers LTD.
- Offer, G., & Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8, 245-281.
- Official Journal of the European Communities (C 371, 1.12.1998). Publication of an application for registration pursuant to the second subparagraph of Article 8(1) of Regulation (EEC) no. 2082/92 on certificates of specific character.
- Okos, M. R., Narsimhan, G., Singh, R. K., & Weitnauer, A. C. (1992). En: D. R. Heldman & D. B. Lund (Eds.), *Handbook of food engineering* (p. 440). New York: Marcel Dekker.
- Olson, D. G. (1982). Salt for processing probably can be cut by only one quarter. *The National Provisioner*, 17, 7-10.
- Ouali, A. (1990). Meat tenderization: possible causes and mechanisms. A review. *Journal of Muscle Foods*, 1(2), 129-165.
- Paarup, T., Nieto, J. C., Peláez, C., & Reguera, J. I. (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 Food Research and Technology*, 209(5), 366-371.
- Pakowski, Z., Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2004). Simultaneous water and salt diffusion in meat during drying and curing ham. En: *Drying 2004 - Proceedings of the 14th International Drying Symposium* (IDS 2004), São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. A. pp. 518-525.
- Palmia, F., Pecoraro, M., & Ferri, S. (1993). Essiccazione di prodotti carnei: calcolo del coefficiente di diffusione effettivo (De) dell'acqua in fette di lombo suino. *Industria Conserve*, 68, 238-242.
- Palumbo, S. A., Komanowsky, M., Metzger, V., & Smith, J. L. (1977). Kinetics of pepperoni drying. *Journal of Food Science*, 42(4), 1029-1033.
- Parolari, G. (1996). Review: achievements, needs and perspectives in dry-cured ham technology: the example of Parma ham. *Food Science and Technology International*, 2(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(1), 117-122.
- Pavón-Meléndez, G., Hernández, J. A., Salgado, M. A., & García, M. A. (2002). Dimensionless analysis of the simultaneous heat and mass transfer in food drying. *Journal of Food Engineering*, 51(4), 347-353.
- Payne, M. R., & Morison, K. R. (1999). A multi-component approach to salt and water diffusion in cheese. *International Dairy Journal*, 9(12), 887-894.
- Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J., Gago-Gago, M. A., Pagán-Moreno, M. J., Ruiz-Peludo, C., Rosmini, M. R., López-Santobaña, F., & Aranda-Catalá, V. (1996). Properties of dry-cured ham: temperature and pH influence during salting stage. *Journal of Muscle Food*, 88(3), 315-328.
- Petäjä, E., Kukkonen, E., & Puolanne, E. (1985). Einfluss des Salzgehaltes auf die Reifung von Rohwurst. *Fleischwirtschaft*, 65, 189-193.

- Petterson, A. (1899). Experimentelle Untersuchungen über das Conserviren von Fisch und Fleisch mit Salzen. Berlin. klin. Wochschr., 36, 915; 1900, Arch. Hyg., 37, 171-238.
- Phelps, T., Angus, F., Clegg, S., Kilcast, D., Narain, C., & Ridder, C. (2006). Sensory issues in salt reduction. *Food Quality and Preferences*, 17(7-8), 629-634.
- Pinotti, A., Graiver, N., Califano, A., & Zaritzky, N. (2001). Diffusion of nitrite and nitrate salts in pork tissue in the presence of sodium chloride. *Journal of Food Science*, 67(6), 2165-2171.
- Pipek, P., Houska, M., Jelenikova, J., Kyhos, K., Hoke, K., & Sikulova, M. (2005). Microbial decontamination of beef carcasses by combination of steaming and lactat acid spray. *Journal of Food Engineering*, 67(3), 309-315.
- Poma, J. P. (1991). Qualite de la matiere premiere et fabrication de jambon sec: interet d'un nouvel indice de qualite de la viande. *Viandes et Produits Carnés*, 12 (3), 67-73.
- Prasai, R. K., Acuff, G. R., Lucia, L. M., Morgan, J. B., May, S. G., & Savell, J. W. (1992). Microbial effects of acid decontamination of pork carcasses at various locations in processing. *Meat Science*, 32(4), 413-423.
- Puolanne, E., & Terrell, R. N. (1983). Effect of rigor-state, level of salt and sodium tripolyphosphate on chemical and sensory properties of frankfurter-type sausages. *Journal of Food Science*, 48(4), 1036-1038.
- Puolanne, E., Pöso, A. R., Ruusunen, M. H., Sepponen, K. V., Kylä-Puhju, M. S. (2002). Lactic acid in muscle and its effect on meat quality. *AMSA. 55th Reciprocal Meat Conference*, 55-62.
- Puri, V. M., & Anantheswaran, R. C. (1993). The finite-element method in food processing: A review. *Journal of Food Engineering*. 19(3), 247-274.
- Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5(8), 255.
- Raoult-Wack, A. L., Petitdemange, F., Giroux, F., Guilbet, S., Rios, G., & Lebert, A. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media. Part 2: A compartmental model for dewatering and impregnation soaking processes. *Drying Technology*, 9(3), 613-630.
- Ravishankar, S., & Juneja, V. K. (2000). Chapter 26: Sodium Chloride. En: Naidu, A. S. (Ed.) *Natural Food Antimicrobial Systems* (pp. 705-723). Florida: CRC Press LLC.
- Regulation (EC) No. 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*, 30.12.2006, L 404/9.
- Resurrección, A. V. A. (2003). Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Science*, 66(1), 11-20.
- Rico, E., Toldrá, F., & Flores, J. (1990). Activity of cathepsin D as affected by chemical and physical dry-curing parameters. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 191(1), 20-23.
- Rico, E., Toldrá, F., & Flores, J. (1991). Effect of dry-curing process parameters on pork muscle cathepsin B, H and L activity. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 193(6), 541-544.
- Risvik, E. (1994). Sensory properties and preferences. *Meat Science*, 36(1-2), 67-77.
- Rodríguez-Núñez, E., Aristoy, M. C. & Toldrá, F. (1995). Peptide generation in the processing of ham dry-cured. *Food Chemistry*, 53(2), 187-190.
- Rosell, C. M., & Toldrá, F. (1996). Effect of curing agents on m-calpain activity throughout the curing

- process. *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 203(4), 320-325.
- Ruiz, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A., & García, C. (1999). Volatile compounds of dry-cured Iberian ham as affected by the length of the curing process. *Meat Science*, 52(1), 19-27.
- Ruiz-Cabrera, M. A., Gou, P., Foucat, L., Renou, J. P. & Daudin, J.D. (2004). Water transfer analysis in pork meat supported by NMR Imaging. *Meat Science*, 67(1), 169-178.
- Ruiz-López, I. I., Córdova, A. V., Rodríguez-Jimenes, G. C., & García-Alvarado, M. A. (2004). Moisture and temperature evolution during food drying: effect of variable properties. *Journal of Food Engineering*, 63(1), 117-124.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2005). Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science*, 70, 579-587.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2006). 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. *Meat Science*, 72(2), 185-194.
- Ruusumen, M., & Poulanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70(3), 531-541.
- Ruusunen, M., Vainionpää, J., Lyly, M., Lähteenmäki, L., Niemistö, M., Ahvenainen, R., & Puolanne, E. (2005). Reducing the sodium content in meat products: the effect of the formulation in low-sodium ground meat patties. *Meat Science*, 69(1), 53-60.
- Ruusunen, M., Vainionpää, J., Lyly, M., Lähteenmäki, L., Niemistö, M., & Puolanne, E. (2003). The effect of fat and meat contents on perceived saltiness in meat patties. En: *Proceedings of the 49th international congress of meat science and technology* (pp. 475-476). Campinas/SP, Brazil.
- Sárraga, C., Gil, M., Arnau, J., Monfort, J. M., & Cussó, R. (1989). Effect of curing salt and phosphate on the activity of porcine muscle proteases. *Meat Science*, 25(4), 241-249.
- Sárraga, C., Guàrdia, M.D., Díaz, I., Guerrero, L., García-Regueiro, J.A. y Arnau, J. (2007). Nutricional and sensory quality of porcine raw meat, cooked ham and dry-cured shoulder as affected by dietary enrichment with docosahexaenoic acid (DHA) and α -tocopheryl acetate. *Meat Science*, 76(2), 377-384.
- Schivazappa, C., Degni, M., Costa, L. N., Russo, V., Buttazzoni, L., & Virgili, R. (2002). Analysis of raw meat to predict proteolysis in Parma ham. *Meat Science*, 60(1), 77-83.
- Sebranek, J., & Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77(1), 136-147.
- Serra, X., Gou, P., Fulladosa, E., Costa, A., & Arnau, J. (2007). Aplicación de lactato potásico en jamón curado deshuesado con un contenido reducido de NaCl. *IV Congreso Mundial del Jamón*, Salamanca, Spain.
- 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(2), 249-254.
- Shelof, L. A., & Seiter, J. A. (1993). Chapter 15: Indirect antimicrobial. En: Davidson, P. M., & Branen, A. L. (Eds.), *Antimicrobial in Food* (pp. 539-569). New York: Marcel Dekker, Inc.

- Simal, S., Femenia, A., García-Pascual, P., & Rosselló, C. (2003). Simulation of the drying curves of a meat-based product: effect of the external resistance to mass transfer. *Journal of Food Engineering*, 58(2), 193-199.
- Smith, J. L., Maurer, M. J., Bencivengo, M. M., & Krusch, C. A. (1987). Effect of sodium uptake of substrate by *Staphylococcus aureus* 196E. *Journal of Food Protection*, 50(11), 968-974.
- Sofos, J. N. (1983a). Antimicrobial effects of sodium and other ions in food: a review. *Journal of Food Safety*, 6(1), 45-78.
- Sofos, J. N. (1983b). Effects of reduced salt (NaCl) levels on sensory and instrumental evaluation of frankfurters. *Journal of Food Science*, 48(6), 1692-1695, 1699.
- Sokhansanj, S., & Jayas, D. S. (1995). Drying of food stuffs. En: Mujumdar, A. S. (ed.). *Handbook of industrial drying* (pp. 589-625). Marcel Dekker Inc.: New York.
- Souci, S. W., Fachmann, W., & Kraut, H. (1986). Food Composition and Nutrition Tables 1986/87. 3rd. Revised and completed edition. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. Stuttgart.
- Stein, R. (2000). Know the enemy: understanding the basics of foodborne pathogens. *Meat Poultry*, 10, 46-51, 79.
- Suman, S. P., Mancini, R. A., Joseph, P., Ramanathan, R., Konda, M. K. R., Dady, G., Naveena, B. M., & López-López, I. (2010). Color-stabilizing effect of lactate on ground beef is packaging-dependent. *Meat Science*, 84(3), 329-333.
- Talon, R., Leroy, S., & Lebert, I. (2007). Microbial ecosystems of traditional fermented meat products: The importance of indigenous starters. *Meat Science*, 77(1), 55-62.
- Tan, W., & Shelef, L.A. (2002). Effects of sodium chloride and lactates on chemical and microbiological changes in refrigerated and frozen fresh ground pork. *Meat Science*, 62, 27-32.
- Tanner, F. W., & Evans, F. L. (1933). Effect of meat curing solutions on anaerobic bacteria. I. Sodium chloride. *Zentr. Bakt. Parasitenk., II.*, 88, 44-54.
- Tanner, F. W., & Evans, F. L. (1934). Effect of meat curing solutions on anaerobic bacteria. III. Sodium nitrite. *Zentr. Bakt. Parasitenk., II.*, 91, 1-14.
- Tanzi, E., Sacconi, G., Barbuti, S., Grisenti, M. S., Lori, D., Bolzoni, S. i col. (2004). High-pressure treatment of raw ham. Sanitation and impact on quality. *Industria Conserve*, 79(1), 37-50.
- Taylor, R., & Krishna, R. (1993). Multicomponent mass transfer, Wiley Series in Chemical Engineering (1st ed., pp 50-66), John Wiley and Sons: New York.
- Terrell, R. N. (1983). Reducing the sodium content of processed meats. *Food Technology*, 3(7), 66-71.
- Thorvaldsson, K., & Skjoldebrand, C. (1996). Water transport in meat during reheating. *Journal of Food Engineering*, 29(1), 13-21.
- Toldrá, F. (1998). Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products. *Meat Science*, 49(S1), S101-S110.
- Toldrá, F. (2002). Dry-cured meat products. Trumbull: Food and Nutrition Press, Connecticut, USA.
- Toldrá, F. (2006). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 164-168.
- Toldra, F., & Etherington, D. J. (1988). Examination of cathepsins B, D, H and L activities in dry-cured hams. *Meat Science*, 23 (1), 1-7.
- Toldrá, F., Cerveró, M.C., & Part, C. (1993). Porcine aminopeptidase activity as affected by curing agents.

- Journal of Food Science*, 58(4), 724-726.
- Toldrà, F., Flores, M., & Sanz, Y. (1997). Dry-cured ham flavour: Enzymatic generation and process influence. *Food Chemistry*, 59, 523-530.
- Toldrà, F., Rico, E., & Flores, J. (1992). Activities of pork muscle proteases in model cured meat systems. *Biochimie*, 74(3), 291-296.
- Toldrà, F., Rico, E., & Flores, J. (1993). Cathepsin B, D, H and L activity in the processing of dry-cured-ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 157-161.
- Tornberg, E. (1996). Biophysical Aspects of Meat Tenderness. *Meat Science*, 43(S), S175-S191.
- US Department of Health and Human Services (2005). 2005 Dietary guidelines for Americans. Chapter 8 Sodium and Potassium. (Disponibile a 11/02/2010 a la URL: <http://www.health.gov/dietaryguidelines/dga2005/document>).
- Velugoti, P. R., Rajagopal, L., Juneja, V., & Thippareddi, H. (2007). Use of calcium, potassium, and sodium lactates to control germination and outgrowth of *Clostridium perfringens* spores during chilling of injected pork. *Food Microbiology*, 24(7-8), 687-694.
- Vestergaard, C., Andersen, B. L., & Adler-Nissen, J. (2007). Sodium diffusion in cured pork determined by ²²Na radiology. *Meat Science*, 76(2), 258-265.
- Vestergaard, C., Risum, J., & Adler-Nissen, J. (2004). Quantification of salt concentrations in cured pork by computed tomography. *Meat Science*, 68(1), 107-113.
- Virgili, R., & Schivazappa, C. (2002). Muscle traits for long matured dried meats. *Meat Science*, 62(3), 331-343.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., Soresi-Bordini, 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.
- Virgili, R., Parolari, G., Schivazappa, C., & Bordini, C. (1995). Effects of raw material on proteolysis and texture of typical Parma ham. *Industria Conserve*, 70(1), 21-31.
- Virgili, R., Sacconi, G., Gabba, L., Tanzi, E., & Soresi Bordini, C. (2007). Changes of free amino acids and biogenic amines during extended ageing of Italian dry-cured ham. *LWT - Food Science and Technology*, 40(5), 871-878.
- Wakamatsu, J., Nishimura, T., & Hattori, A. (2004a). A Zn-porphyrin complex contributes to bright red color in Parma ham. *Meat Science*, 67, 95-100.
- Wakamatsu, J., Okui, J., Ikeda, Y., Nishimura, T., & Hattori, A. (2004b). Establishment of a model experiment system to elucidate the mechanism by which Zn-protoporphyrin IX is formed in nitrite-free dry-cured ham. *Meat Science*, 68(2), 313-317.
- Warner, R. D., Kauffman, R. G., & Greaser, M. L. (1997). Muscle protein changes post-mortem in relation to pork quality traits. *Meat Science*, 45(3), 339-352.
- Welti-Chanes, J., Vergara, F., Bermúdez, D., Mújica-Paz, H., & Valdez-Fragoso, A. (2003). Unsteady-state mass transfer in foods. En: Heldman, D. R. (ed.). *Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering* (p. 1096). Marcel Dekker, Inc.: New York.
- Wilkinson, D. S. (2000). Chapter 3. Transient diffusion problems. En: Mass transport in solid and fluids. Cambridge University Press: New York.
- Wistreich, H. E., Morse, R. E., & Kenyon, L. J. (1959). Curing of ham: a study of sodium chloride accumulation. I. Methods, effect of

- temperature, cations, muscles and solution concentration. *Food Technology*, 13, 441-443.
- Wistreich, H. E., Morse, R. E., & Kenyon, L. J. (1960). Curing of ham: a study of sodium chloride accumulation. II. Combined effects of time, solution concentration and solution volume. *Food Technology*, 14, 549-551.
- Wood, F. W. (1966). The diffusion of salt in pork muscle and fat tissue. *Journal of Science Food Agriculture*, 17(3), 138-140.
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., & Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343-358.
- Xiong, Y. L., Lou, X., Harmon, R. J., Wang, C., & Moody, W.G. (2000). Salt - and pyrophosphate - induced structural changes in myofibrils from chicken red and white muscles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(8), 1176-1182.
- Yetim, H., Kayacier, A., Kesmen, Z., & Sagdic, O. (2006). The effects of nitrite on the survival of *Clostridium sporogenes* and the autoxidation properties of the Kavurma. *Meat Science*, 72(2), 206-210.
- Yokoyama, K., Nio, N., & Kikuchi, Y. (2004). Properties and applications of microbial transglutaminase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64(4), 447-454.

CAPÍTOL 3:

OBJECTIUS



3. OBJECTIUS

3.1. Objectiu general

Considerant la necessitat de produir productes carnis amb un contingut reduït de sal/sodi, l'objectiu del present treball és avaluar els efectes que tenen la reducció de sal afegida i l'addició de lactat potàssic sobre els processos de salatge i assecatge de productes carnis crus-curats, i sobre les característiques del pernil curat en particular.

Per a assolir-ho s'han plantejat els següents objectius específics.

3.2. Objectius específics

- Estudiar l'efecte de la reducció del contingut de NaCl i l'addició de lactat potàssic sobre la captació i la cinètica de penetració del NaCl, avaluant-ho en diferents músculs de pernil amb un rang ampli de valors de pH i a diferents temperatures.
- Millorar la comprensió de la transferència simultània d'aigua i sal a través d'un model carni (llonganissa), per a poder predir la transferència interna de massa que té lloc durant l'assecatge en un producte carni similar, prèvia fixació de la quantitat de sal addicionada (estàndard o reduïda) i dels paràmetres de procés.
- Avaluar la influència de l'addició de lactat potàssic a carn picada sobre les isoterms de desorció. Modificacions en les isoterms de desorció signifiquen canvis en el contingut d'aigua a la superfície del producte durant l'assecatge, la qual cosa incideix tant sobre la cinètica d'assecatge com sobre el desenvolupament d'encrostrat superficial.
- Conèixer l'efecte de la reducció del contingut de NaCl i l'addició de lactat potàssic sobre les característiques fisicoquímiques i sensorials de pernills curats, sotmesos a diferents condicions de processat i fins diferents minves de pes.

CAPÍTOL 4: MATERIAL I MÈTODES



Atenent-se als objectius, el capítol corresponent a resultats s'organitza en quatre apartats coincidents amb quatre publicacions a revistes científiques.

Destacar que els tres primers apartats fan estricta referència a aspectes relacionats amb la dinàmica de procés de productes carnis crus-curats. En ells s'hi mostra una avaluació de com podria afectar la reducció de la quantitat de sal afegida i/o l'addició de K-lactat sobre la transferència de massa que té lloc durant el processat d'aquests derivats carnis.

L'últim estudi es centra en l'efecte de l'addició de K-lactat, com a possible substitut de NaCl, sobre les propietats fisicoquímiques i els atributs sensorials característics del pernil curat.

A continuació només es descriuen els aspectes metòdics comuns als quatre apartats anteriorment citats de resultats. I, per tant, les especificitats metodològiques corresponents a cada estudi experimental seran detallades dins el següent capítol.

4.1. SELECCIÓ DE LA MATÈRIA PRIMERA

A l'estudi corresponent a l'**Apartat 1** de resultats es va utilitzar, com a material biològic, els músculs *Semimembranosus* (SM) i *Biceps femoris* (BF) de diferents peces de pernil, pel fet que:

- El múscul SM es localitza a la cara externa del pernil, podent-se considerar útil per a realitzar estudis relatius al procés de salatge d'aquest producte carni (**Figura 4.1.1.**). En aquest estudi s'avaluà la captació d'ions durant aquesta primera etapa del processat d'un pernil.
- El múscul BF, ancorat a la superfície posterior del fèmur, es pot considerar representatiu dels mús-

culs més interns d'una peça de pernil (**Figura 4.1.2.**). La seva utilització permet dur a terme estudis relatius a l'evolució del processat d'aquest producte carni, a les regions més internes de la peça de pernil, des de les diferents vessants d'interès. A l'estudi de l'**Apartat 1**, es va estudiar la difusió dels ions que té lloc en etapes posteriors al salatge.

- Representen ambdós músculs, pels seus volum i àrea, un percentatge de massa muscular total important dins la peça de pernil (veure **Figura 4.1.3.**).

Referent a l'estudi corresponent a l'**Apartat 2** de resultats, per a l'elaboració d'un model carni picat cru-

curat (llonganissa) es van utilitzar espatlla i panxeta de porc com a matèries primeres.

Per a dur a terme l'estudi de les isoterms de desorció d'una matriu càrnia picada, a l'estudi corresponent a l'**Apartat 3** es va utilitzar el múscul *Gluteus medius*, prèviament picat i salat. Es tracta d'un múscul localitzat a la part externa d'una peça de pernil (**Figura 4.1.1.**) i, així doncs, susceptible de participar activament tant als processos de salatge com d'assecatge.

Per altra banda, a l'estudi mostrat a l'**Apartat 4** de resultats, es va determinar fisicoquímicament i sensorial els canvis que es produeixen, finalitzat el processat, a pernils reestructurats sotmesos a diferents condicions i tractaments de salatge. L'avaluació es va dur a terme a nivell de múscul BF sota la consideració que, per la seva localització, és representatiu de la zona més desfavorable d'una peça de pernil.

Figura 4.1.1. Localització del pernil, a la canal de porc. Músculs localitzats a la cara externa del pernil: **1.** *Biceps femoris*, **2.** *Gluteus medius*, **3.** *Semitendinosus*, **4.** *Semimembranosus*, **5.** *Tensor fasciae latae*, **6.** *Vastus lateralis*, **7.** *Gluteus superficialis* (Font: Jones, Guru, Singh i Jones, 2006).

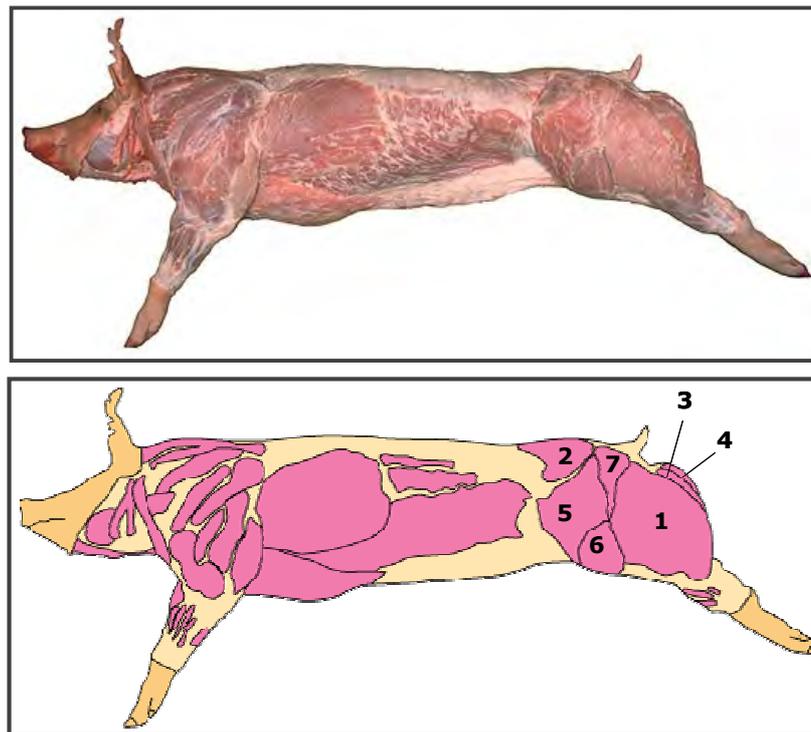


Figura 4.1.2. Localització del pernil, a la canal de porc. Músculs localitzats a la part interna del pernil: **4.** *Semimembranosus*, **5.** *Tensor fasciae latae*, **6.** *Vastus lateralis*, **7.** *Gluteus superficialis*, **8.** *Gastrocnemius*, **9.** *Coccygeus*, **10.** *Peroneus tertius*, **11.** *Peroneus longus*, **12.** *Extensor digitorum longus*, **13.** *Iliacus*, **14.** *Gluteus medius*, **15.** *Gluteus profundus*, **16.** *Gluteus accessorius* (Font: Jones i col., 2006).

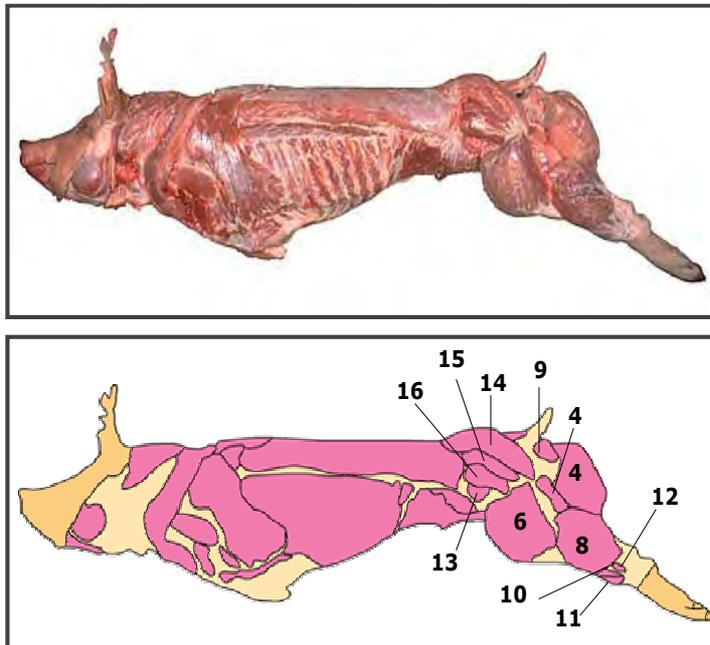
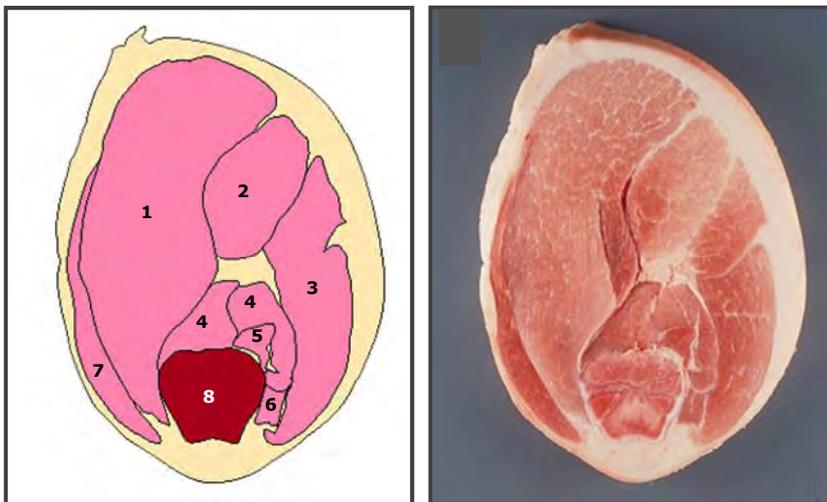


Figura 4.1.3. Tall mig transversal del pernil: **1.** *Semimembranosus*, **2.** *Semitendinosus*, **3.** *Biceps femoris*, **4.** *Gastrocnemius*, **5.** *Flexor digitorum superficialis -pelvic*, **6.** *Soleus*, **7.** *Glacilis*, **8.** Fèmur (Font: Jones i col., 2006).



4.2. PRETRACTAMENT DE LES MOSTRES EXPERIMENTALS

Per a dur a terme els estudis corresponents als **Apartats 1, 3 i 4** del capítol de resultats, es van utilitzar peces de pernils (**Figura 4.1.4.**), adquirides a una sala d'especejament comercial (Càrniques Juià, S.A.; Juià, Girona) abans de les 24 hores *post-mortem*, a una temperatura de $2 \pm 1^\circ\text{C}$.

Es van seleccionar pernils dins un estret rang de pes: $11,0 \pm 1,5$ kg, i valors de pH_{24} dins l'interval de 5,8–6,0; en excepció dels seleccionats per a dur a terme l'*Experiment II* de l'estudi de l'**Apartat 1** del capítol de resultats (rang

de pH de 5,2–6,3). Es va mesurar aquest paràmetre a nivell del múscul *Semimembranosus*, amb un pH-metre sonda model CRISON PH 25 (Crison Instruments, S.A.; Alella, Barcelona), previ control de la temperatura amb la sonda tèrmica CRISON TM 65 (Crison Instruments, S.A.; Alella, Barcelona).

Es va dur a terme també la pesada de cada peça, per a referenciar el pes com a paràmetre de control de l'estudi, amb la balança de precisió model T-SCALE QHW (Bimomak Ltd.Sti, Turquia).

Figura 4.1.4. Peces de pernil.



Posteriorment, es va procedir al desossat, eliminació de la cotna i greix subcutani i a la separació dels músculs d'interès: *Semimembranosus* i/o *Biceps femoris* (**Apartat 1**), *Gluteus medius* (**Apartat 3**), o bé l'escissió de grups musculars externs i interns (**Apartat 4**). En els dos primers estudis experimentals citats, també es va dur a terme el seu polit de fàscies conjuntives i greix, íntimament lligats al teixit muscular. Es va manipular cada múscul mantenint la seva integritat estructural, evitant-se el trencament de la membrana de les fibres musculars que el constitueixen (**Figura 4.1.5.**).

Posteriorment es va pesar cada múscul/paquet muscular, com a paràmetre de control.

A l'estudi corresponent a l'**Apartat 1**, es van obtenir mostres cilíndriques fent ús d'un traucador de 40 mm de diàmetre intern. Les escissions cilíndriques es van dur a terme perpendicularment a l'eix de les fibres dels músculs SM i BF, travessant-los d'una superfície a l'altra, per la seva zona de major gruix. Posteriorment, les mostres experimentals es van sotmetre a diferents tractaments de salatge en salmorra, tal com s'indica al corresponent apartat de resultats.

Figura 4.1.5. Separació del múscul *Semimembranosus* d'una peça de pernil de la massa muscular restant.



A l'estudi de l'**Apartat 3**, els músculs *Gluteus medius* es van molturar, i després barrejar amb les formulacions de NaCl i/o K-lactat assajades, considerant prèviament el contingut d'aigua d'aquest múscul.

Atenent a l'estudi de l'**Apartat 4** de resultats, els paquets musculars es van salar i curar a un bombo de massatge al buit; i posteriorment es van unir, els del mateix pernil, amb l'enzim transgluta-

minasa, com a agent de lligat; envasant-se, tot el conjunt, al buit, en bosses d'assecatge semiimpermeables.

Per a l'obtenció del model carni picat, a l'estudi de l'**Apartat 2** de resultats, la fracció més magra (espatlla) i la més greixosa (panxeta) es van picar, barrejar amb la resta d'ingredients i additius i, finalment embotir, per a dur a terme la resta d'etapes de processat.

4.3. PROCESSAT DE LES MOSTRES

4.3.1. Salatge

A fi de preparar les formulacions de sals dels estudis corresponents als **Apartats 1, 3 i 4** del capítol de resultats, es van dur a terme diferents càlculs, atenent als objectius de cada estudi, tal com es detalla a continuació.

Amb l'objectiu d'estudiar l'efecte de la presència de K-lactat sobre la captació de NaCl, a l'estudi de l'**Apartat 1** es van preparar tres formulacions de salmorres no saturades, fins una massa total de 3 kg de solució; dues d'elles constituïdes només per les sals individuals: NaCl al 20% i K-lactat al 60% (solució comercial aquosa PURASAL® HiPure, de PURAC Bioquímica, S.A.; Montmeló, Barcelona). La tercera es va preparar com a barreja de les sals NaCl (13,88%, p/p) i K-lactat (18,34%, p/p). Els seus percentatges

es van calcular considerant el contingut màxim de sal d'un pernil curat, segons l'ETG del *Jamón Serrano* (no superior a 15 g per cada 100 g de matèria seca desgreixada de pernil). També es va tenir en compte una reducció al 50% de la sal afegida i que l'addició de K-lactat havia de respondre a una substitució molar del 30% sobre el contingut estàndard de NaCl

A l'estudi mostrat a l'**Apartat 3**, a fi d'avaluar l'efecte de la presència de K-lactat sobre la isoterma de desorció, les peces musculars de *Gluteus medius* picades es van barrejar amb diferents formulacions de sals, corresponents a 0,107 kg NaCl; 0,075 kg NaCl i 0,071 kg K-lactat; 0,238 kg K-lactat per kg de carn en base seca. Per a la segona i la tercera formulació, es van tenir en compte substitucions molars de NaCl per K-lactat del 30 i del 100%.

A l'estudi corresponent a l'**Apartat 4**, els grups musculars van ser salats aplicant tres tractaments de salatge diferents: estàndard (30 g NaCl/kg de pernil), amb reducció de la quantitat de sal afegida al 50% (15 g NaCl/kg de pernil), i salatge amb reducció al 50% i addició de K-lactat en un 30% de substitució molar (15 g NaCl i 19,7 g K-lactat per kg de pernil).

En tots aquests estudis, l'etapa de salatge es va dur a terme a temperatures màximes de 5 °C.

4.3.2. Repòs i assecatge

Les mostres experimentals pre-tractades i/o salades es van sotmetre a un procés de post-salatge/repòs (és el cas de models carnis de peça entera, corresponents als estudis dels **Apartats 1 i 4**) i/o d'assecatge (siguin els models carnis picats dels estudis mostrats als **Apartats 2 i 3**, siguin els de peça entera, corresponents a la resta d'estudis).

Tant les condicions termohigromètriques aplicades com la durada d'aquest/s procés/sos estan condicionades pels objectius de cada estudi; i es detallen extensament a l'apartat corresponent del **Capítol 4**.

4.4. DETERMINACIONS FISICOQUÍMIQUES

4.4.1. Contingut de greix

El contingut de greix (total o intramuscular) es va quantificar als estudis corresponents als **Apartats 1, 2 i 4**, fent ús d'una tècnica instrumental indirecta basada en l'espectre de l'infraroig pròxim. L'equip Infratec Meat Analyser (Foss Analytical; Hillerød, Dinamarca) es basa en la tècnica NIT (Near Infrared Transmittance). Es tracta de fer incidir una longitud d'ona, dins el rang de l'infraroig pròxim (700-2500 nm), sobre una mostra alimentària. Dins aquest rang totes les molècules orgàniques presenten una absorbància fàcilment mesurable i la seva intensitat

es pot correlacionar amb la concentració del component (Koop, 1988). Les lectures es van dur a terme en mostres picades de 200 g de massa.

4.4.2. Contingut d'aigua

El contingut d'aigua de les mostres es va quantificar fent ús d'una tècnica gravimètrica: pèrdua de massa determinada sota unes condicions termohigromètriques definides. Es va utilitzar una estufa de dessecació d'aire forçat (model P-Selecta de J.P. Selecta, S.A.; Abrera, Barcelona) i una balança

analítica AG204 (Mettler Toledo S.A.E.; L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona).

La dessecació es va dur a terme durant 24-48 hores, a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (AOAC, 1990), fins l'assoliment d'un pes constant.

La determinació del contingut d'aigua es va obtenir per diferència de pesos de la mostra abans i després del procés de dessecació.

4.4.3. Contingut de clorur

La determinació del contingut d'aquest ió es va realitzar per dos mètodes diferents. A l'estudi corresponent a l'**Apartat 1** es va aplicar una tècnica espectroscòpica, prèvia preparació de les mostres a analitzar. Als estudis corresponents als **Apartats 2 i 4**, la determinació de clorurs es va dur a terme mitjançant volumetria potenciomètrica.

A continuació, es detalla com es va quantificar el contingut de l'ió clorur a ambdós estudis:

4.4.3.1. Obtenció de l'extracte aquós

A l'estudi corresponent a l'**Apartat 1** es van homogeneïtzar 2 g de mostra en 0,150 L d'aigua mili-Q amb un Ultra-Turrax (Thyristor Regler TR 50), a 13.500 r.p.m. durant uns 30 a 60 segons.

La dissolució es va introduir a un bany maria, a $80 \pm 5^\circ\text{C}$ durant 60 minuts (per assolir una desnaturalització proteica via acció tèrmica). Després de temperar, es va addicionar, a cada solució, 5 mL de solució Carrez I (0,085 M $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) i 5 mL de Carrez II (0,250 M $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Es va deixar homogeneïtzar en repòs, durant uns 15 minuts, per a dur a terme la digestió química de macromolècules. Per a l'obtenció de l'extracte aquós, es va filtrar sobre paper Whatman N° 52. I, finalment, es va transvasar a un matràs aforat, enrasant fins als 0,250 L amb aigua ultrapura. La solució correspon a l'anomenat *extracte aquós*.

En la determinació de clorurs corresponents als estudis mostrats als **Apartats 2 i 4** de resultats, es va dur a terme una homogeneïtzació prèvia de $2 \pm 0,01$ grams de les mostres càrnies, en un volum d'aigua ultrapura, mitjançant un homogeneïtzador Ultra-Turrax Thyristor TR50 Regulator.

4.4.3.2. Quantificació de clorurs per espectrofotometria

La tècnica espectroscòpica (mètode colorimètric) emprada a l'estudi de l'**Apartat 1** va ser adaptada per Berman (1976) a l'equip l'autoanalitzador de flux continu segmentat utilitzat, model TechniconTM AA-II bicanal (Seal Analytical Ltd, Bran+Luebbe; West Sussex, Anglaterra), per a l'anàlisi de

clorurs en carns i productes carnis. Aquest equip va permetre, previ calibratge amb solucions de NaCl de concentració de Cl⁻ conegudes (50, 100, 150, 200, 250 i 400 mg/L), determinar la concentració d'ió clorur present a 2 mL representatius de cada extracte aquós. L'equip llegeix l'absorbància d'un producte colorimètric format a partir de la complexió del clorur amb el reactiu colorimètric, amb una relació estequiomètrica 1:1, a la unitat analítica havent fet incidir una λ de 480 nm a la unitat de detecció de l'equip.

Referent als estudis corresponents als **Apartats 2 i 4** de resultats, el contingut de clorur de les mostres prèviament homogeneïtzades van ser analitzades via volumetria potenciomètrica fent ús de l'equip titrador 785 DMP Titrimo (Metrohm Ltd.; Herisau, Switzerland). El nitrat de plata, en una concentració de 0,1 M, es va utilitzar com a valorant, d'acord amb la ISO 1841-2 (1996).

4.4.4. Contingut de L-lactat

La quantificació de L-lactat es va dur a terme als estudis corresponents als **Apartats 1 i 4**. Es va desenvolupar en dues etapes:

4.4.4.1. Obtenció de l'extracte aquós amb pH ajustat

Primer es va obtenir un extracte aquós seguint la metodologia prèviament

descrita per a la determinació de clorurs (subapartat **4.4.3.1.**) de l'estudi de l'**Apartat 1**.

Després es va ajustar el pH dins el rang 7,5-8,5, utilitzant una base forta (KOH 2 M) i un pH-metre model GLP22 (Crison Instruments, S.A.; Alella, Barcelona). A continuació es va fer una segona clarificació, fins a obtenir-se l'extracte aquós desitjat.

4.4.4.2. Quantificació de L-lactat enzimàticament

Per a quantificar la forma molecular L-lactat, es va utilitzar el kit enzimàtic *L-lactic acid* amb referència 10.139.084.035 (R-Biopharm AG; Darmstadt, Alemanya). Es va fer ús de semicubetes de polimetilmetacrilat de 3,0 mL de capacitat d'un sol ús, amb una λ mínima treball de 300 nm, i l'equip d'espectrofotometria model UV-1603 SHIMADZU (Shimadzu Corporation; Kyoto, Japó). Es van fer dues lectures d'absorbància (abans i després de la reacció enzimàtica), prèvia addició dels volums pertinents dels diversos reactius del kit i de l'extracte analític, fent incidir una longitud d'ona de 340 nm.

4.4.4.5. Contingut de sodi i potassi

Només es va determinar el seu contingut a l'estudi experimental mostrat a l'**Apartat 1**.

La quantificació dels continguts dels ions sodi i potassi es va realitzar partint de les mostres resultants de la determinació del contingut en aigua. Les mostres dessecades, contingudes en cressols ceràmics, es van col·locar a una placa calefactora circular model Selectemp (J.P. Selecta, S.A.; Abrera, Barcelona), a una temperatura de 250°C, fins assolir la carbonització completa de la mostra. L'objectiu era volatilitzar, a aquesta temperatura, considerada crítica, els components orgànics de la mostra sota una campana d'aspiració.

Posteriorment les mostres carbonitzades es van incinerar a $525 \pm 25^\circ\text{C}$, a una mufla HERÓN model 12-PR/300 Sèrie 74 (CR Marés S.A., Barcelona), durant unes 6–7 hores, fins obtenir cendres de coloració blanca blavosa (ISO 936, 1998).

Les cendres es van dissoldre en 0,100 L d'una solució àcida 1(HNO₃):4(H₂O), partint d'una solució comercial d'aquest àcid al 65% de puresa (133255 PA-ISO, Panreac; Castellar del Vallès, Barcelona). Cada solució de cendres es va col·locar a una ampolla de coll mig de polipropilè i de tap roscat, de capacitat 0,100 L i de dimensions 0,100 x 0,995 m (Lab Logistics Group GmbH; Meckenheim, Alemanya), fins procedir a la seva determinació.

La quantificació es va dur a terme fent ús d'una tècnica d'anàlisi

elemental: espectrofotometria d'emissió atòmica combinada amb plasma acoblat inductivament (ICP-AES), mitjançant l'equip Liberty RL Sequential ICP-AES (Varian Iberica; Sant Just Desvern, Barcelona). La determinació de la concentració d'aquests cations (expressada en mg/L) a cada mostra es va realitzar previ calibratge, amb concentracions conegudes dels dos ions (8, 20, 40, 20, 100, 200, 300 i 600 mg/L). La tècnica es basa en quantificar la concentració, correlacionant-la amb la intensitat de l'emissió detectada procedent de cadascun dels dos ions ($\lambda_{\text{Na}} = 589,592 \text{ nm}$ i $\lambda_{\text{K}} = 766,490 \text{ nm}$), prèvia excitació amb plasma d'argó. No es va precisar, gairebé per a cap mostra, una dilució prèvia de les solucions de cendres per a dur a terme les quantificacions.

4.4.6. Determinació de l'activitat d'aigua

Aquest paràmetre fisicoquímic, i també termodinàmic, va ser determinat als estudis corresponents als **Apartats 3 i 4**. Es van utilitzar porcions picades d'uns 10 g de mostra. La seva determinació es va realitzar amb l'equip Novasina AW SPRINT - TH 500 instrument (Axair Ltd.; Pfäffikon, Switzerland) a 25 °C a l'**Apartat 4**, i a 5 i 25 °C a l'**Apartat 3**.

4.5. DETERMINACIONS MICROBIOLÒGIQUES

A continuació es descriu la metodologia emprada per a dur a terme els recomptes microbiològics corresponents a resultats no publicats de l'estudi de l'**Apartat 4** del capítol de resultats. Es van determinar els recomptes de bacteris aerobis mesòfils i de l'àcid làctic, presents a nivell del múscul *Biceps femoris* de pernils curats reestructurats, processats a 5 i 15 °C segons es descriu a l'**Apartat 4** de resultats.

Es van extraure mostres d'uns 25 grams i es van diluir 1/10 amb aigua de peptona tamponada (AES Laboratories; Combourg, França). Les diferents dissolucions van ser homogeneïtzades fent ús d'un digestor model 400 (Cooke Laboratories, Alexandria, Va.), durant 1 minut. Posteriorment, es van dur a terme les dilucions decimals apropiades i

l'inòcul de la mostra diluïda als corresponents medis de cultiu:

- medi Plate Count Agar (PCA, Merck; Darmstadt, Alemanya) en el cas de bacteris aerobis mesòfils,
- medi Man, Rogosa i Sharpe (MRS) en doble capa (Merck; Darmstadt, Alemanya), per al recompte de bacteris de l'àcid làctic.

En ambdós casos es va implementar una incubació a 30 °C durant 72 hores. En el cas dels bacteris de l'àcid làctic, aquesta va desenvolupar-se anaeròbicament, en gerres d'anaerobiosi Oxoid (Basingstoke, Hampshire, Anglaterra).

Finalitzat el període d'incubació, es va procedir al recompte de les colònies presents, per a cada mostra, als medis de cultiu corresponents.

4.6. MODELITZACIÓ DELS PROCESSOS DIFUSIUS A UNA MATRIU CÀRNIA

A l'estudi de l'**Apartat 1** es va dur a terme la determinació dels coeficients de difusivitat individuals dels ions clorur, lactat, sodi i potassi a través d'un model carni de peça entera (músculs SM i BF), emparant-se en els processos difusius descrits per les *Lleis de Fick* (veure subapartat **2.3.1.** del **Capítol 2.**), i fent ús del càlcul numèric explícit per a pro-

cedir a la seva resolució. Així doncs, per a dur a terme el càlcul del contingut iònic (expressat en kg/100 kg, C) es va utilitzar la següent equació:

$$C_j^{n+1} = \frac{D \cdot \Delta t}{(\Delta x^2)} \cdot \left[C_{j-1}^n + C_{j+1}^n + \left(\frac{\Delta x^2}{D \cdot \Delta t} - 2 \right) \cdot C_j^n \right] \quad [4.6.1.]$$

on l'índex j representa els punts discrets en la direcció X , n és el moment

temporal, Δt (s) és l'interval temporal 0–15 i 15–30 dies estudiat després del salatge, i Δx (m) és el nòdul espacial establert per a la solució algorítmica. Aquest mètode permet calcular els continguts dels ions clorur, sodi, lactat i potassi a la posició j i a l'instant $n+1$ tenint en consideració que el perfil dels continguts de cada ió a un moment previ (n) és conegut.

En aquesta modelització es va assumir que la matriu càrnia es va mantenir homogènia, en composició/estructura i dimensions, durant tot procés assajat; i, també, que no ha va existir cap interferència en els mecanismes difusius dels ions, fossin degudes tant a la presència d'altres ions com a la composició de la matriu càrnia.

Cercant una aproximació més exacta dels processos difusius que tenen lloc a les matriu càrnies durant el processat de productes carnis, a l'estudi de l'**Apartat 2**, es va estudiar la difusió de l'aigua i la sal durant l'assecatge d'un model carni picat. Es va entendre com un sistema multicomponent, on la transferència de massa interna i externa de l'aigua influenciava el moviment de la sal. També es va considerar pels càlculs la composició de la matriu càrnia, així com els canvis dimensionals que van tenir lloc durant tot el procés d'assecatge derivats de la progressiva deshidratació.

L'*Equació de Stefan-Maxwell* (GSM) es va considerar com la més idònia per a poder determinar els coeficients de difusivitat d'aquests dos components, que es difonen en sentit contrari (veure subapartat **2.3.2.** del **Capítol 2.**), a través del coneixement de la distribució radial dels seus continguts al llarg de tot el procés d'assecatge.

La forma matricial de l'equació GSM utilitzada per a la modelització és la següent:

$$(J) = -C[B]^{-1}[\Gamma](\nabla x) \quad [4.6.2.]$$

on (J) és la matriu de fluxos molars,

$$B = \begin{bmatrix} \frac{x_0}{D_{02}} + \frac{x_1}{D_{01}} + \frac{x_2}{D_{02}} & -x_0 \left(\frac{1}{D_{01}} - \frac{1}{D_{02}} \right) \\ -x_1 \left(\frac{1}{D_{01}} - \frac{1}{D_{12}} \right) & \frac{x_0}{D_{01}} + \frac{x_1}{D_{12}} + \frac{x_2}{D_{12}} \end{bmatrix} \quad [4.6.3.]$$

i

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 1 + x_0 \frac{d \ln(\gamma_0)}{dx_0} & x_0 \frac{d \ln(\gamma_0)}{dx_1} \\ x_1 \frac{d \ln(\gamma_1)}{dx_0} & 1 + x_1 \frac{d \ln(\gamma_1)}{dx_1} \end{bmatrix} \quad [4.6.4.]$$

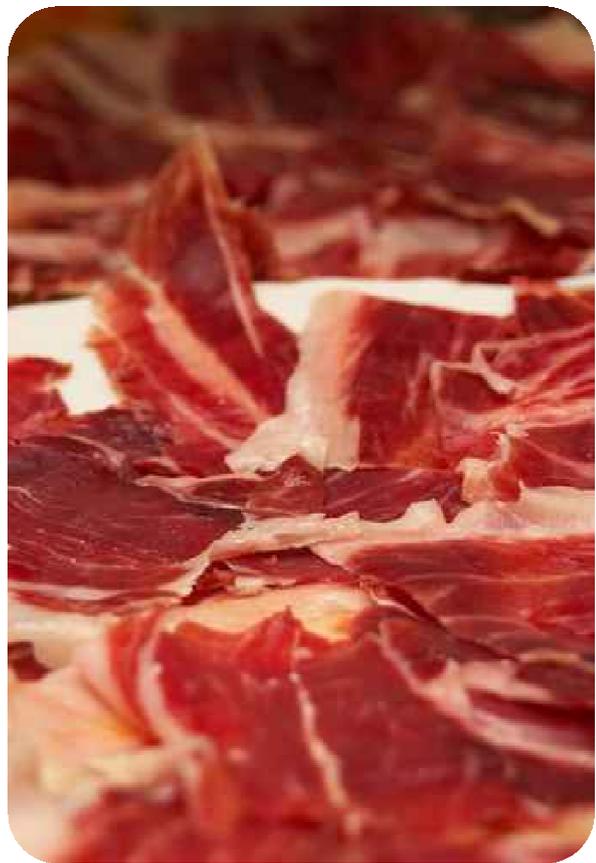
D_{ij} són els coeficients de difusivitat binaris GSM, C és la concentració molar total i γ són els coeficients d'activitat.

Per a dur a terme aquesta última modelització es va fer ús de l'aplicació informàtica Matlab (Mathworks, 2007).

REFERÈNCIES

- AOAC (1990).** Official method 950.46, moisture in meat, B. Air drying (15th ed.). In K. Helrich (Ed.). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (Vol. II, pp. 931). Arlington: Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Berman, N. C. (1976).** Automated system for sodium nitrite, sodium nitrate and sodium chloride in meat products. 7th. Technicon International Congress. December, New York.
- ISO 1841-2 (1996).** Meat and meat products. Determination of chloride content - Part 2: Potentiometric method (reference method). Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 936 (1998).** Meat and meat products. Determination of Total Ash (Reference method). Geneva: International Organization for Standardization.
- Koop, J. (1988).** Méthodes rapides d'analyse de la viande. Viandes et Produits Carnés, 9 (4), 163-172.
- Mathworks (2007).** MATLAB, Mathworks, USA (disponible a 06/07/2010 la URL: www.mathworks.com).

CAPÍTOL 5: RESULTATS



APARTAT 1:

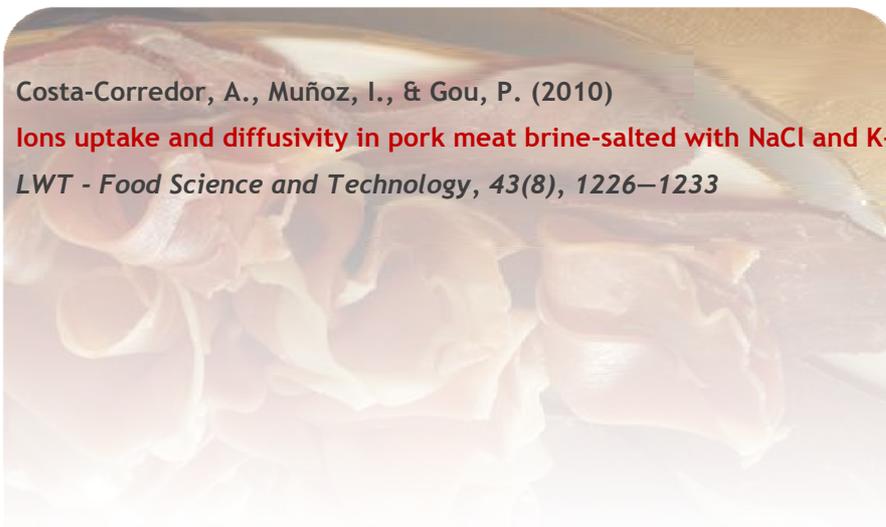
INFLUÈNCIA DE LA REDUCCIÓ DE **NaCl** I LA SEVA SUBSTITUCIÓ PARCIAL PER **K-LACTAT** SOBRE L'ABSORCIÓ DE **NaCl** A TRAVÉS D'UNA **MATRIU CÀRNIA**



Costa-Corredor, A., Muñoz, I., & Gou, P. (2010)

Ions uptake and diffusivity in pork meat brine-salted with NaCl and K-lactate

LWT - Food Science and Technology, 43(8), 1226–1233



**ION UPTAKES AND DIFFUSIVITIES IN PORK MEAT BRINE-SALTED WITH NaCl
AND K-LACTATE**

A. Costa-Corredor, I. Muñoz, J. Arnau and P. Gou
IRTA – Finca Camps i Armet, E-17121 Monells, Spain

Abstract

The addition of K-lactate has been proposed as a NaCl substitute in dry-cured meat products. The aim of this study was to evaluate the effect of K-lactate as NaCl substitute in meat with different pH on the ion uptakes of meat during the brine-salting process and on the ion diffusivities within meat at 2 °C and 12 °C after the salting process. The addition of K-lactate did not modify the chloride uptake and tended to reduce the sodium uptake, which was partially compensated by a higher potassium uptake.

No interference caused by the lactate ion on the diffusivity of the chloride was observed. Meat pH significantly affected the ion uptake but did not significantly affect the post-salting ion diffusivities (*D*). Although the ion *D* values were of the same order, the *D* of lactate was significantly lower than that of the rest of the ions. Moreover, the post-salting temperature applied and the muscle type had a significant effect on ion diffusivities.

Keywords

Ion uptake; effective diffusion coefficient; sodium chloride; potassium lactate; salted meat.

1. Introduction

Dry-cured meat products are traditional Mediterranean products. Salt (NaCl) improves flavour and reduces water activity, which increases both the microbiological (Hutton, 2002) and enzymatic stabilities (Arnau, Guerrero & Sárraga, 1998). However, several studies have linked sodium intake to hypertension (Kaplan, 2000; Karppanen & Mervaalaa, 2006) and consequently, in recent years a major effort has been made to reduce the amount of this ingredient in meat products. An optimum NaCl substitute should behave similarly in the meat matrix and have a similar effect on the product characteristics to NaCl. A 30-40% molar substitution of NaCl by K-lactate has been recently used in dry-cured meat products without significantly modifying their sensory characteristics (Costa-Corredor, Serra, Arnau & Gou, 2009; Fulladosa, Serra, Gou & Arnau, 2009; Gou, Guerrero, Gelabert & Arnau, 1996).

During the salting stage of dry-cured ham, there is a migration of sodium and chloride ions from the saturated brine on the ham surface to inside the ham matrix. The semimembranosus muscle (SM) is the most important muscle exposed to the salting brine. In the post-salting stage, these ions, mainly located on the surface, move towards the inner zones of the ham. The heterogeneous structure of meat makes it difficult to

know which path the ion diffusion takes. However, this diffusion is described in general by Fick's second law. The diffusion coefficient of NaCl (D) in meat depends on the muscle (Djelveh & Gros, 1988; Wistreich, Morse & Kenyon, 1959), and could be related to muscle characteristics such as the fat content (Fox, 1980; Wood, 1966) and the connective tissue content (Hansen, van der Berg, Ringgaard, Stødkilde-Jørgensen & Karlsson, 2008), on the myofibril direction (Thorvaldsson & Skjöldebrand, 1996) and on the raw meat pH values (Lautenschläger, 1995), although Vestergaard, Risum and Adler-Nissen (2005) did not find any pH effect on D values.

The D can also be modified among others by the ion concentration of the salting brine (Djelveh & Gros, 1988; Guiheneuf, Gibbs & Hall, 1997; Graiver, Pinotti, Califano & Zaritzky, 2006), the presence of other ions in the salting solution (Pinotti, Graiver, Califano & Zaritzky, 2001) and the processing temperature (Chatterjee, 1968; Gros, Dussap & González-Méndez, 1984; Djelveh & Gros, 1988). In dry-cured ham, the processing temperature also affects the microbial growth. Thus, the salting and the post-salting stages in dry-cured ham are usually carried out at temperatures between 3 and 5 °C (Barat, Grau, Ibáñez & Fito, 2008). During the maturation or ripening stage, the

temperatures are increased to above 12 °C (Andrés, Cava, Ventanas, Muriel & Ruiz, 2007; Andrés, Ventanas, Ventanas, Cava & Ruiz, 2005).

No previous studies have been found on the effect of the addition of K-lactate on chloride and sodium uptake and their diffusion in the ham matrix after the salting process, neither has any reference been found on the diffusivity of lactate in meat.

The aim of this study was to evaluate the effect of K-lactate as a NaCl substitute in meat with different pH on the ion uptakes of meat during the brine-salting process and on the ion diffusivities within meat at 2 °C and 12 °C after the salting process.

2. Materials and methods

Two experiments were performed on pork muscles, brine-salted with NaCl and/or K-lactate. The first experiment studied the uptake of salts during the salting process and in the second one the diffusion of salts after salting had also been studied.

Salting was carried out by submerging a cylindrical meat sample in a large volume of salting brine.

Three different salting brines were prepared according to the salting process: salt brine, SS; K-lactate brine, LS; and salt and K-lactate brine, SLS. The SS solution contained 20 kg NaCl per 100 kg of salting solution. The LS solution

contained 60 kg K-lactate per 100 kg (Purasal®, Purac Bioquímica S.A., Montmeló, Spain). The SLS solution contained 7.20 kg of NaCl and 9.48 kg of K-lactate per 100 kg of salting brine, which is equivalent to a molar relationship between NaCl and K-lactate of 50/30. The ion concentration of each salting solution is shown in **Table 5.1.1**.

Table 5.1.1. Ionic concentration of each salting solution (C_s) used for developing the experimental designs I and II.

BRINE SOLUTION	ION	C_s (kg/m ³)
SS ^A	Chloride	134.9
	Sodium	87.3
LS ^B	Lactate	568.9
	Potassium	249.0
SLS ^C	Chloride	97.0
	Sodium	62.9
	Lactate	155.3
	Potassium	64.3

^ASS: salt salting brine, 20 kg NaCl per 100 kg.

^BLS: K-lactate salting brine, 60 kg K-lactate per 100 kg.

^CSLS: salt with K-lactate salting brine, which contained 7.20 kg of NaCl and 9.48 kg of K-lactate per 100 kg, equivalent to a molar NaCl/K-lactate ratio of 50/30.

2.1. Experiment I

2.1.1. Selection and handling of samples before salting

Semimembranosus (SM) muscles were obtained from nine hams selected

according to pH at 24 h post-mortem (pH_{SM24}), ranging from 5.8 to 6.0. The pH was measured with a pH penetration electrode (Crison 52-32) on a portable pH-meter (Crison pH 25, Crison Instruments SA, Alella, Spain).

Two cylindrical samples (0.040 m diameter and around 0.070 m length) were obtained from each SM muscle, perpendicular to the meat fibres, by using a sharp tubular rotating borer. One cylindrical sample was placed inside stainless steel cylinders (0.040 m diameter, 0.100 m length) (Figure 5.1.1.); the lateral surface was sealed with a rapid impact adhesive (Loctite® Super Glue-3 Professional, Henkel Adhe-

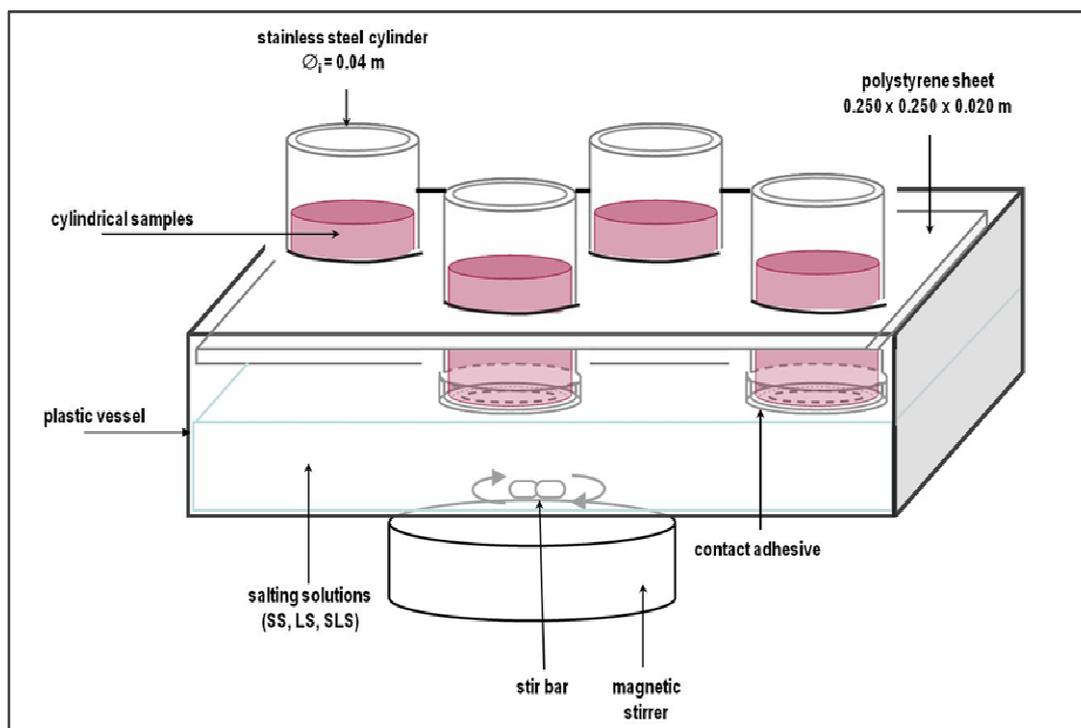
sivos y Tecnologías SL, Barcelona, Spain), in order to avoid a radial mass transfer during the salting process; the axial surface which was not in direct contact with the salting brine was covered with a paraffin film, in order to prevent the sample from drying during the salting process.

The characterization of raw samples was done with the second sample (ion content and fat content).

2.1.2. Sample salting

An amount of 3 kg of each salting brine (SS, LS and SLS) was prepared inside a $0.200 \times 0.200 \times 0.125$ m plastic vessel.

Figure 5.1.1. Sample support structure for developing the salting process.



The cylindrical sample from each SM muscle was salted through the uncovered axial surface (Figure 1), at 3 ± 2 °C, for 4 days. Samples from 3 SM muscles were subjected to each salting solution.

During the salting treatment, the brine was subjected to constant agitation using a magnetic stirrer. At the end of salting, each cylindrical sample was minced and analyzed for the ion content.

2.2. Experiment II

The experimental design was carried out on the *semimembranosus* (SM) and the *biceps femoris* (BF) muscles from hams covering a wider range of pH than in *Experiment I* and used the same salting brine treatments as in *Experiment I* (SS, LS and SLS, **Table 5.1.1.**), two post-salting periods (from 0 days to 15 days and from 15 days to 30 days after salting) and two post-salting temperatures (2 °C and 12 °C).

2.2.1. Selection and handling of samples before salting

Nine green hams were selected, at a commercial slaughterhouse, according to the pH of SM muscle at 24 h post-mortem ($\text{pH}_{\text{SM}24}$), which ranged between 5.2 and 6.3. The pH was measured as in *Experiment I*.

At 24 h post-mortem, hams were skinned and boned. The SM and BF muscles were dissected, except in 3 hams in which BF muscle was not available,

according to the experimental design shown in **Table 5.1.2.**

Three or four cylindrical samples with an average length of 0.070 m were obtained from each SM or BF muscle following the same procedure as in *Experiment I*.

2.2.2. Sample salting and post-salting

The four cylindrical SM samples from the 3 hams with no BF samples were salted with SS brine (2 samples/ SM muscle) or LS brine (2 samples/ SM muscle). The SM and BF samples of the other 6 hams were only salted with SLS salting brine (**Table 5.1.2.**).

All samples (n=54) were brine-salted for 4 days at 3 ± 2 °C using the same device as in *Experiment I*. After salting, one sample from each muscle within each salting treatment was removed and divided into four equal-thickness sections, which were analyzed for the ion content. The rest of the cylindrical samples were air-packed in a water-vapour impermeable bag of PA/PP (polyamide/polypropylene) and stored at 2 °C (n= 30) or 12 °C (n=6) for 15 days. Then, one sample from each muscle within each salting treatment was sampled in the same way as those after salting. The rest of the cylindrical samples were stored at 2 °C (n=6) or 12 °C (n=6) for an additional 15 days and, finally, sampled in the same way as those after salting.

Table 5.1.2. Distribution of the cylindrical samples from *semimembranosus* (SM) and *biceps femoris* (BF) muscles of green hams (hams represented by numbers) according to the salting brine treatment and the post-salting time and temperature they were subjected for developing the experimental design II.

SALTING TREATMENT (MUSCLE)	SS ^A (SM)	LS ^B (SM)	SLS ^C (SM & BF)
Just after salting	1, 2, 3	1, 2, 3	4, 5, 6, 7, 8, 9
After 15 days at 2 °C	1, 2, 3	1, 2, 3	4, 5, 6, 7, 8, 9
After 15 days at 12 °C	-	-	7, 8, 9
After 30 days at 2 °C	-	-	4, 5, 6
After 15 days at 2 °C + 15 days at 12 °C	-	-	4, 5, 6

^ASS: salt salting brine, 20 kg NaCl per 100 kg.

^BLS: K-lactate salting brine, 60 kg K-lactate per 100 kg.

^CSLS: salt with K-lactate salting brine, which contained 7.20 kg of NaCl and 9.48 kg of K-lactate per 100 kg, equivalent to a molar NaCl/K-lactate ratio of 50/30.

2.3. Analytical determinations

Analytical determinations were performed in duplicate on cylindrical samples (*Experiment I*) or on their sections (*Experiment II*), which had been previously minced and homogenized.

For chloride ion content analysis (SS and SLS samples), 2 grams of the sample were homogenised in 100 ml of ultra pure water. Proteins were precipitated at 80 ± 5 °C for 1 hour using 5 ml of Carrez-I solution: potassium-hexacyanoferrate-(II)-trihydrate, 0.085 mol $K_4[Fe(CN)_6] \times 3 H_2O$; 5 ml of Carrez-II solution: zinc sulfate, 0.250 mol $ZnSO_4 \times 7 H_2O$, and extracted by filtration. The ionic content analysis of the filtered solution was based on the photometric method described by

Zall, Fisher and Garner (1956), by using a TechniconTM device (AutoAnalyzerTM II, Bran+Luebbe GmbH, Norderstedt, Germany).

For L-lactate ion content analysis (LS and SLS samples), the pH of the filtered solution obtained, as in the chloride analysis, was adjusted to between 7.5 and 8.5. After a second filtration, the L-lactic acid content was determined using a method based on enzymatic reaction and UV spectrophotometry (a UV-method for determination of L-lactic acid in foodstuffs; no. catalogue 10.139.084.035, R-Biopharm AG, Darmstadt, Germany) at 340 nm.

For the sodium and potassium ion content analysis, ashes were obtained

from SLS samples by the calcination of 2 grams of sample in a furnace at 525 ± 25 °C until a constant weight was reached (ISO 936, 1998). The ashes were dissolved in a watery nitric acid solution (1:4). The sodium and potassium contents of this solution were analysed using an Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometer (Liberty RL Sequential ICP-AES by Varian Iberica SL, Madrid, Spain), by measuring their ionic emission intensities ($\lambda_{\text{Na}} = 589.592$ and $\lambda_{\text{K}} = 766.490$ nm).

Fat content of unsalted samples was determined by near infrared transmittance technique (Koop, 1988), using an Infratec™ 1265 Meat Analyser model (Tecator AB, Sweden).

2.4. Mathematical model

2.4.1. Experiment I: Ion uptake during the salting process

The ion uptake (M , kg/m²) was calculated as:

$$M = \frac{(C - C^0) \cdot w}{A} \quad [5.1.1.]$$

where C (kg/100 kg) and w (kg) are the ion content and weight of the cylindrical sample at 4 days after salting; C^0 (kg/100 kg) is the ion content in the unsalted cylindrical sample from the same muscle; and A (m²) is the contact surface with the salting solution.

The ionic molar uptake (nM , kmol/m²) was also calculated taking into

consideration each ion's molecular weight (m , kg/kmol):

$$nM = \frac{M}{m} \quad [5.1.2.]$$

2.4.2. Experiment II: Analysis of the ion diffusion during the post-salting period by finite differences solution

The ion uptake amount (M , kg/m²) was calculated as the ratio:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} (C_i - C^0) \cdot w_i}{A} \quad [5.1.3.]$$

where C_i (kg/100 kg) and w_i (kg) are the ion content and weight corresponding to section i from the cylindrical salted samples.

The classical mathematical model of diffusion is Fick's equation [5.1.4.]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad [5.1.4.]$$

where C is the ion content (kg/100 kg), t is time (s), D is the ionic effective diffusivity coefficient (m²/s) and x is the distance in the X-dimension (m).

To model NaCl transfer over 15-day periods (0-15 and 15-30 days after salting), the assumptions considered were as follows: one-dimensional flux, known initial distribution of ion contents, homogeneous and isotropic samples, constant diffusivities coefficients, no ions were transferred at the surface.

The initial distribution of ion content for post-salting periods 0-15 days and 15-

30 days was obtained by fitting the following exponential form (equation [5.1.5.]) to the average experimental ionic distributions of those samples analysed after salting and at 15 days after salting, respectively:

$$C = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot x} + b_2 \quad [5.1.5.]$$

where b_0 , b_1 and b_2 are model coefficients.

A finite difference approximation was used to solve the model: a Simple Explicit algorithm. The continuous problem domain was discretized and the dependent variables (ion content expressed in kg/100 kg, C) were considered to exist at 20 discrete points. By means of this method, the solution of equation [5.1.4.] in each point is:

$$\frac{C_j^{n+1} - C_j^n}{\Delta t} = D \cdot \frac{C_{j-1}^n - 2 \cdot C_j^n + C_{j+1}^n}{(\Delta x)^2} \quad [5.1.6.]$$

where the index j represents the mesh points in the X-direction, n the time step considered, Δt (s) is the time-interval and Δx (m) is the space-node established for the algorithm solution.

The Explicit Method allows for the calculation of the sodium, chloride, lactate and potassium ion content profiles (kg/100 kg) at position j at instant $n+1$ if the content profile of each ion at the previous time step (n) is known. In the present study, the central-difference form has been applied: the content derivative at position j depends on contents at coordinates $j-1$ and $j+1$.

The equation [5.1.7.], corresponding to an isolation of the unknown variable allowed when calculating each solution:

$$C_j^{n+1} = \frac{D \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2} \cdot \left[C_{j-1}^n + C_{j+1}^n + \left(\frac{\Delta x^2}{D \cdot \Delta t} - 2 \right) \cdot C_j^n \right] \quad [5.1.7.]$$

Considering the distribution fitted with equation [5.1.5.] at time 0 as the initial content profile, the distribution at time 15 (final content profile) was determined as a function of D . Similarly, by considering the distribution fitted with equation [5.1.5.] at time 15 as the initial content profile, the distribution at time 30 (final content profile) was determined as a function of D . The final content profiles were used to estimate the ion content corresponding to the same sections as the experimental ones.

D was identified by the mathematical optimization technique of the least squares, minimising the sum of the squares of the difference between the ionic contents generated numerically and the corresponding experimental values.

2.5. Statistical analysis

Variance analyses were performed using the General Linear Model (GLM) procedure of the SAS statistical package (SAS Institute, 2003). The ion uptake data from both experiments 1 and 2 were analyzed jointly. The model included the ion within the salting solution as a fixed effect and the muscle within ham as a block effect.

The linear model for D included the ion, the post-salting temperature (2 or 12 °C), the post-salting period (0-15 days or 15-30 days), the muscle (SM or BF) and their double interactions as fixed effects; the brine solution (SS, LS or SLS) was added as a fixed effect to study if ion diffusivities using individual brines (SS or LS) are modified by the presence of another salt (SLS brine). Effects not statistically significant ($P > 0.05$) were dropped from the models.

The relationships between the meat pH and M or D were analyzed.

3. Results and discussion

3.1. *Ion uptakes during salting*

The ion uptakes (M , kg/m²) during the salting process are shown in **Table 5.1.3**. Significant differences were observed between the chloride and sodium ion uptakes from the SS brine and those values from the SLS solution, and between lactate and potassium ion uptakes from the LS brine and the corresponding values from the SLS solution ($P < 0.05$). The differences in the ionic uptakes between brine solutions were related to the differences in ionic concentrations in the salting solution (**Table 5.1.1**). These results agree with those of González-Méndez, Gros and Poma (1983), who proposed that the quantity of chloride ion (M , kg/m²) which penetrates into a semi-infinite cylinder of meat at a constant diffusivity coefficient

(D , m²/s), salted in a NaCl solution (C_s , kg/m³), for an established time (t , s) is proportional to C_s :

$$M = 2 \cdot C_s \cdot \left(\frac{D \cdot t}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [5.1.8.]$$

Regarding the ionic uptake of ions (M) from the same salting brine (**Table 5.1.3**), significant differences were observed between chloride and sodium ions in SS solution, but their ion molar uptakes (nM) were not significantly different ($P > 0.05$). Therefore, the net electrical charge uptake in the SS solution was close to 0. With regard to the LS brine, the potassium molar uptake (nM) was significantly higher than that of lactate ion ($P < 0.05$). This could be explained by the fact that, despite the osmotic pressure (i.e. differences in the ionic concentration between the LS solution and the unsalted meat) which may contribute to both entrances of lactate and potassium ions, their different molecular weight causes the observed differences in their corresponding uptakes. In SLS salting brine, the net electrical charge uptake was close to 0; i.e., the sum of the molar uptakes (nM) of chloride and lactate ions (0.0156 kmol/m²) was similar to the sum of the molar uptakes of sodium and potassium ions (0.0135 kmol/m²). The molar uptake of sodium was lower than that of chloride, but it was compensated by a higher molar uptake of potassium

Table 5.1.3. Mean uptake (M) and molar uptake (nM) after 4 days of salting process by ion type within each salting brine treatment (SS, LS or SLS).

BRINE SOLUTION	ION	M (kg/m ²)	nM (kmol/m ² , × 10 ⁻³)
SS ^A	Chloride	0.636 ^a	17.9 ^a
	Sodium	0.396 ^b	17.7 ^a
LS ^B	Lactate	0.629 ^a	7.2 ^c
	Potassium	0.563 ^{ab}	13.7 ^{ab}
SLS ^C	Chloride	0.483 ^b	13.5 ^b
	Sodium	0.211 ^c	9.1 ^c
	Lactate	0.206 ^c	2.1 ^e
	Potassium	0.175 ^c	4.4 ^d
RMSE ^D		0.1199	2.99

^{a,b,c,d,e}Within column, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^ASS: salt salting brine, 20 kg NaCl per 100 kg.

^BLS: K-lactate salting brine, 60 kg K-lactate per 100 kg.

^CSLS: salt with K-lactate salting brine, which contained 7.20 kg of NaCl and 9.48 kg of K-lactate per 100 kg, equivalent to a molar NaCl/K-lactate ratio of 50/30.

^DRoot mean square error of the lineal model.

with respect to that of lactate. This finding agrees with a recent study by Aliño, Grau, Toldrá, Blesa, Pagán and Barat (2009), who rubbed the surface of pork loins with different mixtures of NaCl and KCl salts. They observed in all treatments that the Na/K ratio in the salted loin was lower than in the salt mixture in all treatments. They attributed this to the higher penetration of K⁺ than Na⁺ ion in meat. It also corroborates the work of Marañón Di Leo and Marañón (2005 a,b), who evaluated

the cation-water interaction of potassium and sodium ions and the effect of hydration on the dynamic properties by computing the diffusion coefficient. They concluded that, in an aqueous solution, the potassium ion can pass through narrow pores more easily than the sodium ion. Carrillo-Tripp, San-Román, Hernández-Cobos, Saint-Martin and Ortega-Blake (2006) observed that the smaller channels ($R=1.5 \text{ \AA}$) are selective to K⁺, whereas the larger ones ($R=2.5 \text{ \AA}$) favour Na⁺. Furthermore a region was

observed (biologic channels of $R=3.5 \text{ \AA}$) where K^+ is favoured. This was attributed to the capacity of K^+ for accommodating a distorted hydration shell, which is advantageous over sodium ions in a constrained environment.

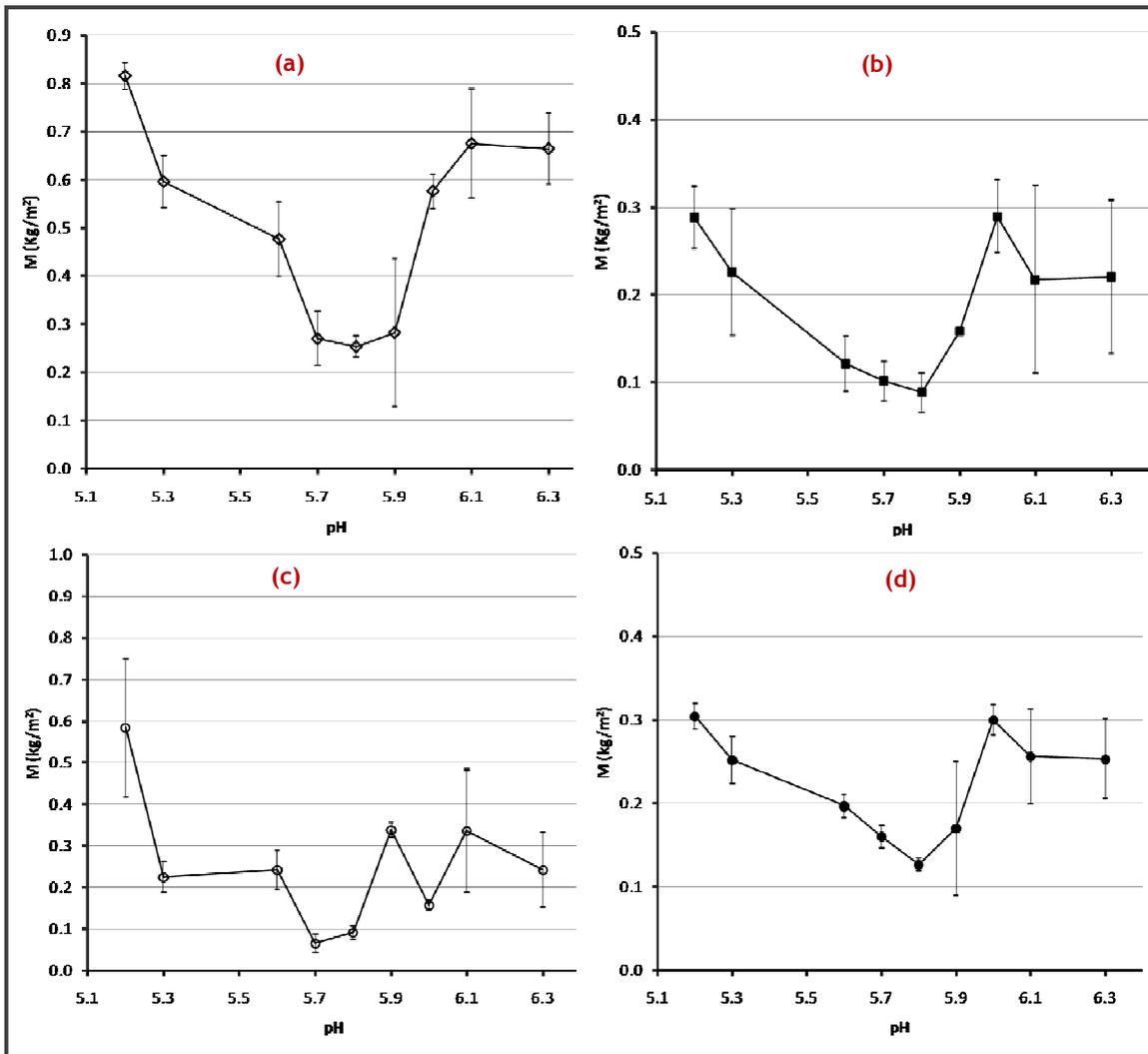
Figure 5.1.2. shows the relationship between the ion uptake after four days of salting and the muscle pH. The ion uptakes tended to be lower at intermediate pH values (around 5.6-5.9). Ruiz-Ramírez, Arnau, Serra and Gou (2005) also found higher % NaCl content on dry-matter basis in *biceps femoris* and *semimembranosus* dry-cured muscle from hams with $\text{pH} > 6.2$ than those with $\text{pH} < 5.7$. Arnau, Guerrero, Casademont and Gou (1995) found significantly higher NaCl contents in *semimembranosus* muscles from PSE hams (pH at 45 min post-mortem (pH_{45}) < 6.0 and conductivity $> 10 \mu\text{s}$) than in normal hams (pH_{45} < 6.0 and conductivity $< 6 \mu\text{s}$). Even in the absence of added salt, the water holding capacity (WHC) of meat depends on its pH value (Hamm, 1986). It is related to the degree of the myofibrils integrity and their denaturation (Offer & Knight, 1988). The muscle WHC and the myofibrils solubilization decreases as the muscle pH value decreases to the myofibrils isoelectric point, which is at pH around 5.5 according to Foegeding and Lanier (1996) or even lower (Hamm, 1986). Thus, at low pH values,

intracellular water passes to the extracellular space (Offer & Trinick, 1983). This might cause high ion fluxes from the meat surface to inner parts, which in turn would cause an increase of the amount of ion uptake in cylindrical samples with low pH values. At higher pH values, typically 5.5-6.0, the meat substantially swells when mixed with salt solutions (Offer & Knight, 1988). Offer and Trinick (1983) observed an increase of swelling in myofibrils due to the presence of different concentrations of NaCl (from 0.1 to 1.0 kmol/m^3 NaCl) at pH 5.5. Therefore, this pH range could be related to the increase in the water holding capacity of salted pork meat. Regarding samples with high pH values, the ion uptake was higher than expected (**Fig. 5.1.2.**). Warner, Kauffman and Greaser (1997) found that DFD (Dark, Firm, Dry; $\text{pH} > 6.0$) samples exhibited significantly higher protein solubilization than RSE (Reddish-pink, Soft, Exudative; $5.44 < \text{pH} < 6.00$) samples. This produces a higher water retention in these samples and, consequently, a higher amount of ions.

3.2. Effective diffusivity coefficients (D) in salted-meat during the post-salting period

The results of the simulation are shown in **Figure 5.1.3.** The ion content profiles followed the experimental data closely.

Figure 5.1.2. Mean ionic uptake after 4 days of salting (M) of (a) chloride, (b) potassium, (c) lactate and (d) sodium ions versus meat pH in the SLS brine solution. Error bars represent standard error of the means.



No effects of the post-salting period (from 0 to 15 days or from 15 to 30 days) or brine solution were detected on D values ($P > 0.05$), and these factors were dropped from the statistical model.

A non-significant effect of brine solution on ion diffusivities means that

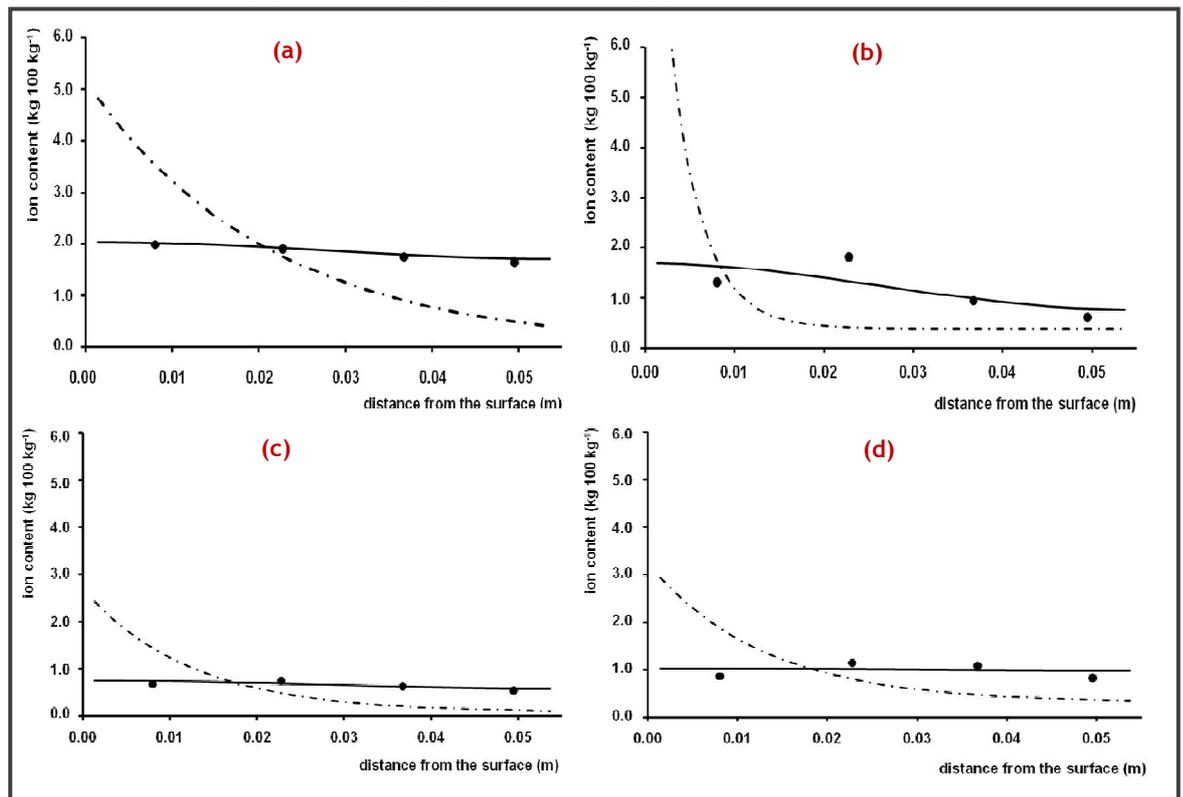
the ionic diffusivities obtained with individual brines (SS or LS) were not modified by changing the ionic brine concentration nor by the presence of another salt (SLS brine). This result agrees with Vestergaard, Andersen and Adler-Nissen (2007), who studied the

sodium diffusion in meat, determined by ^{22}Na radiology, and did not find any significant effect of the ionic brine concentration on the D values during the post-salting period. Similarly, Fox (1980) found that chloride ion diffusion was not affected by an increase of the NaCl concentration in the salting-brine. Conversely, Giheneuf et al. (1997) observed that the effective diffusion coefficient decreases exponentially as a function of sodium concentration in the brine solution by using one-dimensional ^{23}Na Magnetic Resonance Imaging (MRI).

There was a significant effect of the ion type, the post-salting temperature and the muscle type on D , but their double interactions were not significant ($P > 0.05$); i.e the differences in diffusivity between ions were not significantly modified by either temperature or muscle type. **Table 5.1.4.** shows the least square means of D by ion type, post-salting temperature and muscle type.

The effective diffusivity coefficients of different ions after salting (from 2.20×10^{-10} to $4.18 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) were of the

Figure 5.1.3. The exponential form fitted to the initial ion profile (---), the final experimental ionic contents (•) and the final simulated ion profile (—) in a biceps femoris muscle salted in SLS brine solution and rested for 15 days at 12 °C: (a) chloride ion, (b) lactate ion, (c) sodium ion and (d) potassium ion.



same order as those reported by Wood (1966), Fox (1980), Vestergaard, Risum and Adler-Nissen (2004), Vestergaard et al. (2005) and Hansen et al. (2008) (from 2.20×10^{-10} to 7.0×10^{-10} m²/s at the applied range of temperature). The *D* value of lactate was significantly lower than those of chloride, sodium and potassium. This must be due to the higher molecular size of lactate. The lower *D* value of lactate makes it difficult to take advantage of its bacteriostatic effect (Anderson & Marshall, 1989) in the inner part of meat products which are surface-salted, such as dry-cured ham.

The *D* value of potassium tended to be higher than the *D* value of sodium, which is in accordance with results of Baigts & Barat (2009) in dry-cured loin.

The effect of the temperature on the *D* value has been previously described in meat products (Djelveh & Gros, 1988; Gros, Dussap & González-Méndez, 1984) using the Stokes-Einstein relationship. The *D* values at 12 °C were significantly higher than those at 2 °C (Table 5.1.4.), in accordance with this equation. The increase in post-salting temperature from 2 °C to 12 °C reduces the time necessary to achieve specific ion contents in the inner part of the meat product, however the microbiological development is expected to increase and, therefore, it should also be tested in each product.

A significant effect of the muscle type on the diffusivity of ions was detected ($P < 0.05$) (Table 5.1.4.). The higher *D* values of ions from SM muscle could be

Table 5.1.4. Effective diffusivity coefficient (*D*) for the post-salting period least square means by ion type during post-salting temperature and muscle type (Root mean square error of the lineal model = 1.693×10^{-10}).

FACTOR		<i>D</i> (m ² /s × 10 ⁻¹⁰)
Ion type	Chloride ion	4.18 ^a
	Lactate ion	2.20 ^b
	Potassium ion	3.92 ^a
	Sodium ion	3.85 ^a
Post-salting temperature (°C)	2	3.12 ^b
	12	3.96 ^a
Muscle type	<i>Semimembranosus</i>	3.90 ^a
	<i>Biceps femoris</i>	3.18 ^b

^{a,b}Within factor, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

related to their significant lower intramuscular fat content ($P < 0.05$): 1.68% in SM muscles versus 2.85% in BF ones. Wood et al. (1966) and Fox (1980) determined the chloride effective diffusivity coefficient in fat and muscle tissues at several temperatures, and obtained ratios of diffusion coefficients between fat tissue and lean meat from 1/20 to 1/10.

No significant effect of pH on the effective diffusivity values was detected for any ion, which is in accordance with results obtained by Vestergaard et al. (2005).

4. Conclusions

The meat pH affected the ion uptake amounts during the salting process, but not the ionic diffusivity coefficient values during the post-salting period. Therefore, the meat pH must be taken into consideration during the selection of raw meat for the salting process of dry-cured meat products.

In our approach, the substitution of NaCl with K-lactate in the salting brine does not modify the expected uptake of chloride and tends to reduce the sodium uptake, which is partially compensated by a higher potassium uptake. It does not affect the chloride and sodium diffusivity coefficients after the salting stage; however, lactate diffusivity is lower than that of chloride. This has to be considered when setting the salting time

and the duration of the post-salting period at low temperature.

An increase of post-salting temperature from 2 °C to 12 °C reduces the time necessary to achieve specific ion contents in the inner part of the meat product. However, the microbiological development is expected to increase and, therefore, it should also be tested in each product.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the European Community financial participation under the Sixth Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration Activities, for the Integrated Project TRUEFOOD (“Traditional United Europe food”) FOOD-CT-2007-036245. The views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect the views of the European Commission.

Acknowledgements are extended to AGAUR (Agency for Administration for University and Research Grants) from the Government of Catalonia for financing Anna Costa Corredor’s doctorate studies at the University of Girona.

Nomenclature

Δt time interval s

Δx space-nodes in the X-axis m

A	cylindrical sample contact surface with the salting solution	m ²
C	ion content after salting	kg/100 kg
C _s	ion concentration in the salting brine	kg/ m ³
D	effective diffusivity coefficient	m ² / s
M	ion uptake amount	kg/m ²
m	ion molecular weight	kg/kmol
nM	ion molar uptake	kmol/m ²
w	weight	kg

Subscripts:

<i>i</i>	section position within cylindrical sample
<i>j</i>	mesh point in the X-direction

Superscripts:

<i>n</i>	time step
<i>O</i>	unsalted samples

References

- Aliño, M., Grau, R., Toldrá, F., Blesa, E., Pagán, M. J., & Barat, J. M. (2009). Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. *Meat Science*, 3(3), 423-430.
- Andrés, A. I., Cava, R., Ventanas, S., Muriel, E., & Ruiz, J. (2007). Effect of salt content and processing conditions on volatile compounds formation throughout the ripening of Iberian ham. *European Food Research and Technology*, 225, 677-684.
- Andrés, A. I., Ventanas, S., Ventanas, J., Cava, R., & Ruiz, J. (2005).

Physicochemical changes throughout the ripening of dry-cured hams with different salt content and processing conditions. *European Food Research and Technology*, 221, 30-35.

- 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 Agriculture*, 77, 387-392.
- 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.
- Baigts, D., & Barat, J. M. (2009). Estudio de la velocidad de penetración de sales de distinta naturaleza en lomo de cerdo durante el post-salado. In *Proceeding of the V Congreso Mundial del Jamón* (pp. 594-599). Huelva, Spain.
- Barat, J. M., Grau, R., Ibáñez, J. B., & Fito, P. (2008). Post-salting studies in Spanish cured ham manufacturing. Time reduction by using brine-thawing-salting. *Meat Science*, 69, 201-208.
- Carrillo-Tripp, M., San-Román, M. L., Hernández-Cobos, J., Saint-Martin, H., & Ortega-Blake, I. (2006). Ion hydration in nanopores and the molecular basis of selectivity. *Biophysical Chemistry*, 124, 243-250.
- Chatterjee, A. K. (1968). Effects of temperature and sample location on the penetration of minimal curing chemicals in ham. *Journal of Food Science and Technology*, 5, 190-192.
- Costa-Corredor, A., Serra, X., Arnau, J., & Gou, P. (2009). Reduction of NaCl content in restructured dry-cured hams: Post-resting temperature and drying level effects on physicochemical and sensory parameters. *Meat Science*, 83(3), 390-397.

- Djelveh, G., & Gros, J.B. (1988). Measurement of effectiveness of ionic and non-ionic solutes through beef and pork muscles using a diffusion cell. *Meat Science*, 23, 11-20.
- Foegeding, E. A., & Lanier, T. C. (1996). Characteristics of edible muscle tissues. In O. R. Fennema (Ed.), *Food chemistry* (3rd ed.) (pp. 879-942). New York: Marcel Dekker.
- Fox, J.B. (1980). Diffusion of chloride, nitrite and nitrate in beef and pork. *Journal of Food Science*, 45, 1740-1744.
- Fulladosa, E., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J. (2009). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science*, 82(2), 213-218.
- González-Méndez, N., Gros, J.B., & Poma, J.P. (1983). Mesure et modélisation des phénomènes de diffusion lors du salage de la viande. *Viandes et Prod. Carnés*, 4(1), 35-41.
- Gou, P., Guerrero, L., Gelabert, J., & Arnau, J. (1996). Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin. *Meat Science*, 42(1), 37-48.
- Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., & Zaritzky, N. (2006). Diffusion of sodium chloride in pork tissue. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 910-918.
- Gros, J. B., Dussap, G.C., & González-Méndez, N. (1984). Solute diffusivities in meat - A review. *Engineering and Food*, 1, 287-297.
- Guiheneuf, T. M., Gibbs, S. J., & Hall, L. D. (1997). Measurement of the inter-diffusion of sodium ions during pork brining by onedimensional Na-23 magnetic resonance imaging (MRI). *Journal of Food Engineering*, 31(4), 457-471.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurement. New York: P. J. Bechtel (Ed.). In *Muscle as Food* (pp. 135). Academic Press.
- Hansen, C. L., van der Berg, F., Ringgaard, S., Stødkilde-Jørgensen, H., & Karlsson, A. H. (2008). Diffusion of NaCl in meat studied by ¹H and ²³Na magnetic resonance imaging. *Meat Science*, 80, 851-856.
- Hutton, T. (2002). Sodium: technological functions of salt in the manufacturing of food and drink products. *British Food Journal*, 104(2), 126-152.
- ISO 936 (1998). Meat and meat products. Determination of Total Ash (Reference method). *International Organization for Standardization*, Geneva.
- Kaplan, N. M. (2000). The dietary guideline for sodium: should we shake it up? No. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 1020-1026.
- Karppanen, H., & Mervaala, E. (2006). Sodium intake and hypertension. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 49(2), 59-75.
- Koop, J. (1988). Méthodes rapides d'analyse de la viande. *Viandes et Produits Carnés*, 9(4), 163-172.
- Lautenschläger, R. (1995). Diffusion of sodium chloride and sodium nitrite in raw meat model systems. In *41st Annual ICoMST*. San Antonio, USA, 507-508.
- Marañón Di Leo, J., & Marañón, J. (2005a). Hydration and diffusion of cations in nanopores. *Journal of Molecular Structure: Theochem*, 729(1-2), 53-57.
- Marañón Di Leo, J., & Marañón, J. (2005b). Confined Na⁺ and K⁺ ions in an aqueous solution. *Chemical Physics Letters*, 404(4-5), 257-262.

- Offer, G., & Knight, P. (1988). Chapter 3: The structural basis of water-holding in meat. Part 1: General Principles and Water Uptake in Meat Processing. London: Lawrie, R. In: *Developments in Meat Science - 4* (pp. 63 - 171). Elsevier Science Publishers LTD.
- Offer, G., & Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8, 245-281.
- Pinotti, A., Graiver, N., Califano, A., & Zaritzky, N. (2001). Diffusion of Nitrite and Nitrate Salts in Pork Tissue in the Presence of Sodium Chloride. *Journal of Food Science*, 67(6), 2165-2171.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2005). Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science*, 70, 579-587.
- SAS Institute (2003). Statistical analysis system release 9.1. Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- Thorvaldsson, K., & Skjoldebrand, C. (1996). Water transport in meat during reheating. *Journal of Food Engineering*, 29, 13-21.
- Vestergaard, C., Andersen, B. L., & Adler-Nissen, J. (2007). Sodium diffusion in cured pork determined by ^{22}Na radiology. *Meat Science*, 76, 258-265.
- Vestergaard, C., Risum, J., & Adler-Nissen, J. (2004). Quantification of salt concentrations in cured pork by computed tomography. *Meat Science*, 68, 107-113.
- Vestergaard, C., Risum, J., & Adler-Nissen, J. (2005). ^{23}Na -MRI quantification of sodium and water mobility in pork during brine curing. *Meat Science*, 69, 663-672.
- Warner, R. D., Kauffman, R. G., & Greaser, M. L. (1997). Muscle protein changes post-mortem in relation to pork quality traits. *Meat Science*, 45(3), 339-352.
- Wistreich, H. E., Morse, R. E., & Kenyon, L. J. (1959). Curing of ham: a study of sodium chloride accumulation (I): Methods, Effect of Temperature, Cations, Muscle and Solution Concentration. *Food Technology*, August, 441-443.
- Wood, F. W. (1966). The diffusion of salt in pork muscle and fat tissue. *Journal of Science Food Agriculture*, 17, 138-140.
- Zall, D. M., Fisher, D., & Garner, M. Q. (1956). Photometric determination of chloride in water. *Analytical Chemistry*, 28 (11), 1665-1668.

APARTAT 2:

APROXIMACIÓ MATEMÀTICA DE LA DIFUSIÓ SIMULTÀNIA D'AIGUA I SAL A TRAVÉS D'UN MODEL CARNI DURANT L'ETAPA D'ASSECATGE



Costa-Corredor, A., Pakowski, Z., Lenczewski, T., & Gou, P. (2010)
**Simultaneous water and salt diffusion in dry fermented sausages
by the Stefan-Maxwell equation**
Journal of Food Engineering, 97(3), 311–318

**SIMULATION OF SIMULTANEOUS WATER AND SALT DIFFUSION IN DRY
FERMENTED SAUSAGES BY THE STEFAN-MAXWELL EQUATION**

A. Costa-Corredor⁽¹⁾, Z. Pakowski⁽²⁾, T. Lenczewski⁽²⁾, P. Gou⁽¹⁾

⁽¹⁾ IRTA – Finca Camps i Armet, E-17121 Monells, Spain

⁽²⁾ Faculty of Process and Environmental Engineering, Technical University of Łódź, Poland.

Abstract

Dry fermented sausages are subjected to a drying process in which simultaneous water and salt diffusion takes place. In multicomponent diffusion, the diffusion of each species is influenced by the diffusion of other species. Thus, the description of the process by the generalized Stefan-Maxwell (GSM) equation is more rigorous than by the Fick equation. This work uses the GSM approach to model simultaneous water and salt diffusion in fermented pork sausages during drying. Experimentally measured profiles of salt and water content in 80 mm in diameter and 500 mm long sausages dried for up to 35 days were compared with the simulation results where GSM diffusivities of salt and water in meat were the only fitted parameters. A satisfactory agreement was obtained. The obtained diffusivities were strongly dependent on water content. Salt diffusivity was on the average 3 times larger than that of water.

Keywords

Generalized Stefan-Maxwell equation, multicomponent diffusion, fermented pork sausage, drying process, shrinkage.

1. Introduction

Sausages are produced in many countries of Europe. For that purpose lean and fat components of the animal carcasses are minced, mixed and seasoned with salt and characteristic substances, such as specific additives and condiments, and stuffed in casings, originally the gut of an animal. In the Mediterranean region and also in some Central European countries, these raw sausages are subjected to fermentation and ripening/drying stage, under ventilation, temperature and relative humidity control. Carefully designed conditions are necessary to allow the weight loss and several microbiological, physicochemical and biochemical changes for guaranteeing the dry fermented sausages sensory quality and the chemical and microbial stabilization.

During the sausages drying process, two simultaneous mass transport phenomena occur inside the foodstuff matrix: water and solutes transfer.

Many studies have been carried out theoretically and experimentally to understand the transfer of solutes through meat and meat products matrices (Djelveh and Gros, 1988; Fox, 1980; Graiver et al., 2006; Hansen et al., 2008; Oztan and Mutlu, 2005; Sabadini et al., 1998; Ünal et al., 2004; Vestergaard et al., 2007; Wood, 1966;). This transfer could be described in general by Fick's law of diffusion, although this approach

generally is not adequate in the case of simultaneous diffusion of several species especially when they substantially differ in molecular size or when their direction of transfer is opposed (Taylor and Krishna, 1993). Krishna (1987) considered the limitation of the Fick's first law of diffusion in foodstuff matrices: for concentration of NaCl in water lower than 0.6% w/w, the concentration gradient is considered the driving force; at higher concentrations, the interactions between species cause non-ideal behaviour. The alternative equation of diffusion is the generalized Stefan-Maxwell (GSM) equation.

Meat processing involves simultaneous diffusion of several species. The most important are water and NaCl. In some processes (e.g. ham salting) the directions of salt and water diffusion are opposite while in others the directions of diffusion of salt and water could be the same, e.g. last stages of ham drying, when there is a homogeneous NaCl/water ratio in the ham section, but there is a water content gradient between the surface and the inner zones (Gou et al., 2004). This fact calls for application of the GSM equation. The other good reason is the fact that Fickian diffusivities usually strongly depend on concentrations as compared to GSM diffusivities (Taylor and Krishna, 1993).

Several approaches have suggested the use of the GSM equation for the

diffusion in foodstuffs (Boudhrioua et al., 2002; Gerda and Rubiolo, 2003; Pakowski et al., 2004; Payne and Morison, 1999).

Among major obstacles in the application of GSM equation to the process of sausage drying is the non-homogenous structure of the sausage, which makes the true path of diffusion difficult to establish. This renders the established diffusivities “effective”. The other obstacle is shrinkage. During the drying process, the shrinkage causes a variation of the distance of diffusion. The shrinkage is not negligible during foodstuffs drying process as it has been recognized in several works (Hernández et al., 2000; May and Perré, 2002; Mulet, 1994) for establishing reliable values of effective diffusivity coefficient. Because of this, most of the authors have considered foodstuff shrinkage in their models (Balaban and Pigott, 1988; Hernández et al., 2000; Lima et al., 2002; Mulet, 1994; Ruiz-López et al., 2004; Wang and Brennan, 1995).

The aim of this work was to develop and evaluate a GSM model for simultaneous water and salt diffusion in fermented pork sausage during drying, which includes the shrinkage, and to identify GSM diffusivities of water and salt.

2. Material and Methods

Sausages, made with a preestablished formulation, have been subjected to

fermentation and drying processes at controlled relative humidity, temperature and air velocity in a pilot plant dryer. The following procedures were used.

2.1. *Samples preparation*

2.1.1. *Sausages production*

A pork shoulder:belly proportion of 70:30 was ground by using a meat grinder with 6 mm plate. Ground meat was subsequently mixed for a few minutes at 0 °C in a vacuum mixer with the common additive (g per kg total meat): water, 25; salt, 30; dextrose, 7; black pepper, 3; sodium ascorbate, 0.5; sodium nitrite, 0.15; potassium nitrate, 0.15; and a specific microbiological starter, 0.25 (AF3, Saga®, Kerry Bio-Science Americas, Foffman Estates, USA). 5 g/kg of transglutaminase enzyme (Activa EB, Ajimoto®, Impex Química, S.A., Barcelona, Spain) were also added to improve cohesiveness in fresh sausages and to permit the sampling before fermentation.

19 sausages were prepared by stuffing the mixture in 0.08 m diameter collagen casings (Fibran®, Fibran S.A., Sant Joan de les Abadesses, Spain). The sausage length (H) was 0.50 m.

2.1.2. *Fermentation and drying stages*

The sausages were hanged in a chamber, for the microbiological fermentation process, at 21 °C ± 1 °C and

a relative humidity (RH) of 90 - 95% until the pH value decreased to 4.90 - 4.98 for a maximum of 2 days. Thereafter, the fermented sausages were left to dry in a drying chamber at continuous air flow of velocity = 0.48 ± 0.29 m/s, at $12 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ and at $80\% \pm 2\%$ RH for a maximum of 35 days.

One sausage was used as control to evaluate the weight loss and the diameter reduction, being controlled daily for 35 days from its manufacturing to the end of the drying process. These results were used to identify the coefficient of shrinkage.

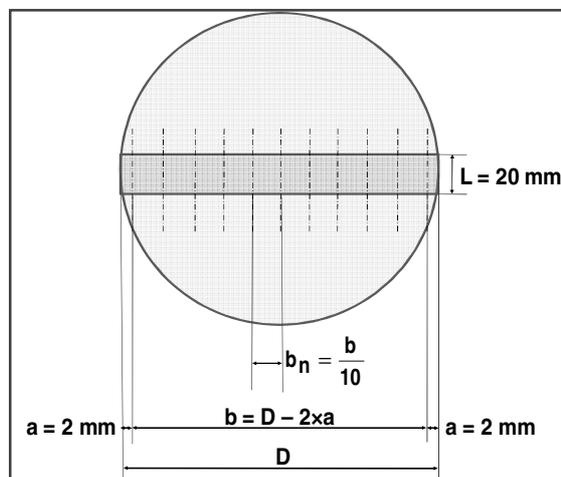
2.1.3. Samples conditioning

Three sausages, randomly selected, were removed from the drying chamber at different periods of the process (0, 2, 5, 9, 21 and 35 days).

As shown in **Figure 5.2.1.**, the external part of each sausage ($a = 2$ mm thickness) was removed and vacuum-packed in water-vapour impermeable polyamide/ polyethylene (PA/PP) bags, frozen and stored at $-18 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ for further physicochemical analysis. Thereafter, a longitudinal section of 20 mm-thickness, which included the centre of the sausage and had the same length as the whole sausage ($b \times c \times H$), was sampled and proportionally divided in ten longitudinal strips (b_n). The symmetric pairs were combined. Therefore, five samples were obtained from each sausage,

representing five radial samples. They were frozen and stored at $-18 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ for further physicochemical analysis.

Figure 5.2.1. Schematic of the sample collection process.



2.2. Physicochemical analysis

The collected samples of each sausage were independently minced and homogenized and, shortly afterwards, the chloride and water content determination was performed. Additionally, ash, protein and fat contents were determined in 3 sausages in order to characterize the composition.

2.2.1. Chloride content

Chloride contents determinations were performed after minced sample homogenization in a known amount of distilled water in Ultra-Turrax Thyristor TR50 Regulator (Ika-Werk, Janke & Kunkel; Staufen, Germany) for some minutes. Afterwards, a potentiometric

titrator equipment (785 DMP Titrimo, Metrohm Ltd.; Herisau, Switzerland) was used to establish the homogenized sample's chloride content using an standard silver nitrate titrant (0.1 M), according to ISO 1841-2 (1996). The standard deviation of the analytical method (S_D) was 0.0011 kg salt/ kg total dry mass (t.d.m.) (t.d.m. = dry meat + salt).

2.2.2. Water and ashes contents

Water content was analyzed by oven drying 2 g of sample to constant weight at 103 ± 2 °C (AOAC, 1990). The initial water content was 2.411 kg/ kg t.d.m. The S_D was 0.019 kg water/ kg t.d.m.

Ash content was obtained by incineration of 2 g of sample in a furnace at 525 ± 25 °C until constant weight (ISO 936, 1998). The ash content was 2.28 % in fresh sausage. The S_D was 0.068%.

2.2.3. Fat and protein contents

Fat and protein contents were determined by near infrared transmittance technique (Koop, 1988) using InfratecTM 1265 Meat Analyzer model (Tecator AB, Sweden). The S_D for the fat content determinations was 0.70%, and for the protein content analyses, 0.50%. The obtained biochemical composition of sausages (averages of contents in g/100 g of fresh pork sausage) was 2.28 g ash, 13.55 g fat and 21.12 g protein.

3. The mathematical model and its parameter identification

3.1. Diffusion model

The generalized Stefan-Maxwell (GSM) equation was used (equation [5.2.1.]):

$$\frac{x_i}{R_G T} \frac{\partial \mu_i}{\partial z} \Big|_{p,T=const} = \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{x_j J_j - x_j J_i}{D_{ij}}$$

In our approach, considering the case of three component system of salt (0) - water (1) - meat (2), whose component (2) is non-diffusing, the following conversion of GSM formulation into the so called multicomponent Fick equation (equation [5.2.2.]) was used:

$$J_i = -C \sum_{j=1}^{n-1} D_{ij} \frac{dx_j}{dz} \quad [5.2.2.]$$

or when written in the alternative matrix form as:

$$(J) = -C [B]^{-1} [\Gamma] (\nabla x)$$

[5.2.3.]

where

$$B = \begin{bmatrix} \frac{x_0}{D_{02}} + \frac{x_1}{D_{01}} + \frac{x_2}{D_{02}} & -x_0 \left(\frac{1}{D_{01}} - \frac{1}{D_{02}} \right) \\ -x_1 \left(\frac{1}{D_{01}} - \frac{1}{D_{12}} \right) & \frac{x_0}{D_{01}} + \frac{x_1}{D_{12}} + \frac{x_2}{D_{12}} \end{bmatrix} \quad [5.2.4.]$$

and

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 1 + x_0 \frac{d \ln(\gamma_0)}{dx_0} & x_0 \frac{d \ln(\gamma_0)}{dx_1} \\ x_1 \frac{d \ln(\gamma_1)}{dx_0} & 1 + x_1 \frac{d \ln(\gamma_1)}{dx_1} \end{bmatrix} \quad [5.2.5.]$$

D_{ij} are GSM binary diffusivities and C is the total molar concentration and γ are the activity coefficients. The following

determinacy condition supplements equation [5.2.3.]:

$$J_2 = 0 \quad [5.2.6.]$$

Using the molar fraction (x) measure for concentration requires that the molar mass of meat is established. Here it was adopted as 50,000 g/mol (Payne and Morrison, 1999), and exact value is unimportant when compared to the molecular masses of other diffusing components.

3.2. Mass balance model

The model balance equations of mass for each diffusing component were formulated in cylindrical coordinates assuming an absence of axial fluxes of mass. The length to diameter ratio of the sausages is 6.25, which is long enough to neglect the axial flux. Otherwise, incorporation of the axial flux would require using the finite element method instead of the finite difference method, which we tried to avoid. The process was assumed isothermal at $T = 285.15$ K. In fact this assumption is invalid in the first hours of the process. However that part is too short to be important in the whole process. The initial radius of sausage was assumed 40 mm, which corresponds to the geometry of the experimental sausage. The balance equations for mass were solved by the method of lines using Matlab software. The radius was divided into 110 discretization cells of equal size. The cells were numbered from 1 on the

surface to 110 near the axis of the sausage. The resulting ordinary differential equation (ODE) for the internal cell is:

$$\frac{dn_{k,n}}{dt} = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot (r_{n-1} \cdot J_{k,n-1} - r_n \cdot J_{k,n})$$

[5.2.7.]

where $n_{k,n}$ is the number of moles of component k in cell n , J are molar fluxes calculated from the GSM equation, r is the current radius and H is the sausage lengthwise dimension. Since the initial concentration of all species is known the problem of solving the set of equations [5.2.7.] becomes an initial value problem (Cauchy problem) provided that appropriate boundary conditions are defined for $r=0$ and $r=R$. Molar fluxes in eq. [5.2.7.] are calculated from the GSM equation [5.2.3.] where molar fraction gradients were calculated using the following approximation:

$$\frac{dx_k}{dr} = \frac{x_{k,n+1} - x_{k,n}}{r_{n+1} - r_n} \quad [5.2.8.]$$

where x_k means molar fraction of k component.

3.3. Initial and boundary conditions

The initial experimental value of salt content was 0.0917 kg salt/kg t.d.m., while moisture content was 2.19 kg water/kg t.d.m. These values were assumed constant along the sample radius. Boundary conditions (BC) at radius $r=0$ are those of symmetry i.e. $dn_k/dr = 0$.

Boundary conditions at the surface require more explanations. The surface of sausage was considered to be exposed to constant external conditions: air velocity (0.48 m/s), air relative humidity (80%), air temperature (285.15 K) and air pressure (101325 Pa). At these conditions, water evaporates slowly from the interface into air at drying rate that can be calculated from the following equation:

$$w_D = k_Y(Y_{eq} - Y) \quad [5.2.9.]$$

This drying rate can be used to formulate the water balance equation for the surface cell using the above BC:

$$\frac{dn_{w,1}}{dt} = -2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot H \cdot \frac{k_Y(Y_{eq} - Y)}{M_w} - 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot H \cdot J_{w,1} \quad [5.2.10.]$$

Salt, on the other hand, as a non-volatile component, is not transferred through the surface and so the salt balance equation for the surface cell using the BC for salt of the form $J_{s,0}=0$ is:

$$\frac{dn_{s,1}}{dt} = -2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot H \cdot J_{s,1} \quad [5.2.11.]$$

It is possible that water evaporating from the surface is transferred through the casing in liquid form. Since liquid phase is a solution of salt in water thus also salt would be transferred causing salt deposit on the surface. This type of BC for salt was also tried but with no success thus the form of eq. [5.2.11.] seems to be plausible. This equation assumes that salt is not transferred through the casing.

The mass transfer coefficient k_Y in eq. [5.2.9.] was calculated using an appropriate correlation for convective heat transfer in flow past a cylinder and Lewis analogy to convert it into mass transfer coefficient. In the range of parameters used the following equation applies:

$$Nu = 0.683 Re^{0.466} Pr^{0.333} \quad [5.2.12.]$$

The equilibrium moisture content Y_{eq} was calculated from the sorption isotherms of pork meat proposed by Comaposada (1999).

The following conversion of a_w into Y_{eq} was used:

$$Y_{eq} = 0.622 \cdot \frac{a_w \cdot p_s}{P_0 - a_w \cdot p_s} \quad [5.2.13.]$$

where 0.622 is the ratio of molar masses of water and air.

3.4. Physicochemical property equations

3.4.1. Water and salt activities

Activities are necessary to formulate the thermodynamic correction factor - equation [5.2.5.]. The thermodynamics of solution of salt in water is well described by Zemaitis et al. (1986). The formulas used by these authors are expressed on the molality basis and require conversion to the molar fraction basis used by the GSM equation. In order to calculate the $d \ln(\gamma_i) / dx_j$ for $i, j = 0, 1$ the following conversion is required:

$$y = (1 + 0.001 M_1 2m) y_m \quad [5.2.14.]$$

and

$$\frac{d \ln \gamma_i}{dx_j} = \frac{d \ln \gamma_i}{dm} \cdot \frac{dm}{dx_j} \quad [5.2.15.]$$

where m is the molality of the solution and γ_m is the molal activity coefficient defined by Zemaitis et al. (1986). By using their formulas and performing the conversion of equation [5.2.14.], the functions $\ln(\gamma_i)/dx_j$ for $i, j = 0, 1$ have been defined. Their graphs in the range of interest of this work are shown in **Figure 5.2.2.**

3.4.2. Water sorption isotherm

The sorption isotherms of salted meat are salt concentration dependent exhibiting a characteristic plateau at $a_w = 0.75$. The sorption isotherm equation proposed for salted pork meat by Comaposada (1999) is used to predict this equilibrium as shown in **Figure 5.2.3.**

The equation has the following form [5.2.16.]:

$$a_w(T, X_w, X_s) = \begin{cases} a_{w1}(T, X_w, X_s) & \text{for } a_w(T, X_w, X_s) > 0.75 \\ a_{w2}(T, X_w, X_s) & \text{for } a_w(T, X_w, X_s) \leq 0.75 \\ \frac{a_{w2}(T, 0.0501, X_s)}{0.0501} \cdot X_w^2 & \text{for } X_w \leq 0.05 \end{cases} \quad [5.2.16.]$$

where

$$a_{w1}(T, X_w, X_s) = z_3(T, X_w, X_s) \cdot \frac{a_1 + a_2 \cdot X_s + a_3 \cdot X_s^2 - \frac{1}{X_w}}{a_4 + a_5 \cdot X_s + a_6 \cdot X_s^2} \quad [5.2.17.]$$

$$a_{w2}(T, X_w, X_s) = \frac{z_1(X_w, X_s) \cdot z_3(T, X_w, X_s)}{z_2(X_w, X_s)} \quad [5.2.18.]$$

$$z_1(X_w, X_s) = \frac{X_w \cdot (2 - d_1 - d_2 \cdot X_s)}{f_1 + f_2 \cdot X_s} + d_1 + d_2 \cdot X_s + \quad [5.2.19.]$$

$$- \sqrt{\left(\frac{X_w (d_1 + d_2 \cdot X_s)}{f_1 + f_2 \cdot X_s} - d_1 - d_2 \cdot X_s \right)^2 + 4 \frac{X_w (d_1 + d_2 \cdot X_s)}{f_1 + f_2 \cdot X_s}}$$

$$z_2(X_w, X_s) = \frac{(2 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2 \cdot X_s) \cdot X_w \cdot (1 - d_1 - d_2 \cdot X_s)}{f_1 + f_2 \cdot X_s} \quad [5.2.20.]$$

$$z_3(T, X_w, X_s) = \exp \left(\frac{\left(a_7 + a_8 \cdot X_s + \frac{1}{a_9 \cdot X_w^{a_{10}}} \right) \cdot \left(\frac{1}{286.15} - \frac{1}{T} \right)}{8.314} \right) \quad [5.2.21.]$$

$a_1 = 15.4167$; $a_2 = -77.4196$; $a_3 = 128.8763$; $a_4 = 14.7196$; $a_5 = -73.5561$;
 $a_6 = 122.7079$; $a_7 = 0.0205$; $a_8 = 4260.9$; $a_9 = 0.002088$; $a_{10} = 1.392099$;
 $f_1 = 0.0714966$; $f_2 = -0.070983$; $d_1 = 19.893125$; $d_2 = 82.140296$; $e_1 = 0.9863437$;
 $e_2 = 0.2436556$

Figure 5.2.2. Functions $d\ln(\gamma_i)/dx_j$ for water and salt (solid line — for water; broken line ----- for salt) at 12 °C.

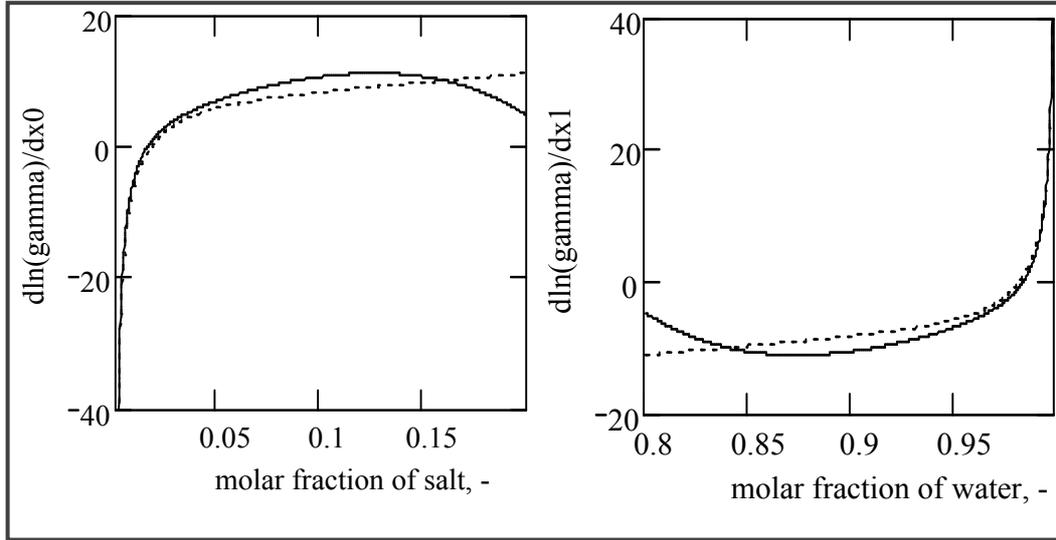
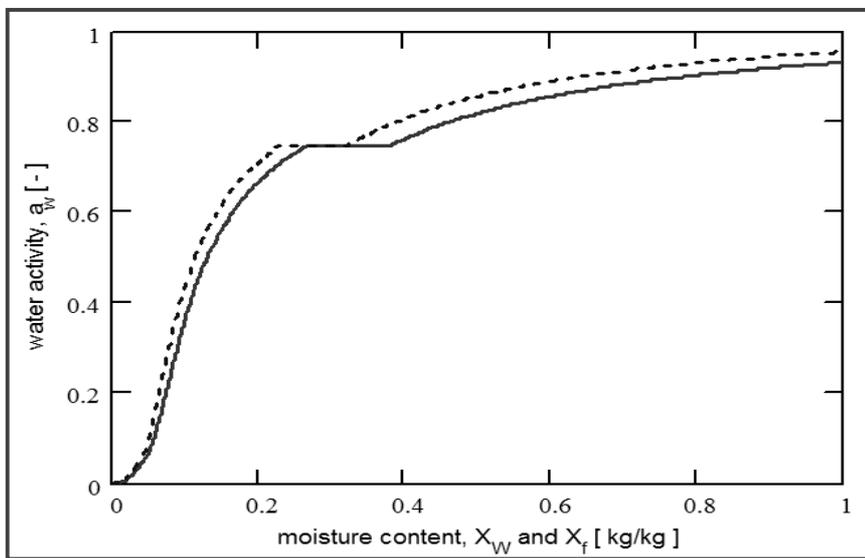


Figure 5.2.3. Sorption isotherms for salted meat at 12 °C - salt content 0.0917 kg/kg (solid line — for lean meat; dotted line ----- for fat content 0.1355 kg/kg).



The Comaposada sorption isotherm equation is valid for lean meat. To modify it, in order to incorporate the fat content, it was assumed that fat is totally non-hygroscopic. This assumption is not unrealistic, as described e.g. in the paper of Trujillo, Ching Yeow and Tuan Pham (2003). This allows for conversion of the lean meat isotherm into a fat meat isotherm according to the following formula (for the same water activity):

$$X_f = \frac{X}{1 + p + p \cdot X} \quad [5.2.22.]$$

where p is the mass fraction of fat in meat per wet meat basis (0.1355 kg/kg in the initial conditions) and X (kg/kg) is the moisture content per dry meat basis. The modification of sorption isotherm due to that correction is also shown in **Fig. 5.2.3.**

3.4.3. Diffusivities

Three binary diffusivities were determined by the GSM formulation: D_{01} (or D_{sw}), D_{02} (or D_{sm}) and D_{12} (or D_{wm}). The first one (salt diffusivity in water) is well known. The following approximation is used (Payne and Morrison, 1999) at 25 °C:

$$D_{01} = 1.62 \cdot 10^{-9} - 1.9 \cdot 10^{-10} C_0 \quad [5.2.23.]$$

where C_0 is molar concentration of salt in kmol/m³. The other two diffusivities serve as the adjustable model parameters and were identified as described in section 3.6.

3.4.4. Density

For the local concentration determination, local density depending on moisture content must be known. The densities of each main formulation component: dry meat, salt and water are known and the resulting mixture density was calculated by adding specific volumes. To calculate the dry meat density the contents of protein, fat, carbohydrate and ash analytically measured were applied and an additive formula for specific volumes was used. The resulting density is the inverse of the total specific volume. The wet, salted meat density was also calculated on the basis of composition. The initial composition was as follows: dry meat 28.0%, salt 3.0%, water 69.0%.

3.5. Shrinkage

Shrinkage in meat drying is noticeable yet not as rapid as to require the description by a moving boundary problem. The problem of moving boundary would require placing a convective term in the balance equation [5.2.7.]. Instead the shrinkage was incorporated into the model by rescaling the numerical mesh after each time step according to the value of space-averaged moisture content of the sausage. The linear shrinkage curve was obtained on the basis of all performed drying experiments and is shown in **Fig. 5.2.4.**

The actual radius can be calculated on the basis of this curve by using the following expression:

$$R = R_0 \cdot (1 + \varepsilon \cdot \bar{X}_w) \quad [5.2.24.]$$

where ε is the coefficient of linear shrinkage which was found equal to 0.1584. The coefficient of the volumetric shrinkage can be obtained theoretically on the basis of composition (moisture content). The resulting value is 0.3010. The linear shrinkage coefficient is thus ca. 0.1 (0.3010 divided by 3). It is therefore smaller than the one obtained experimentally. Therefore it was decided to rescale the mesh proportionally to the average moisture content rather locally proportionally to the local moisture content, since the first method better describes the experimental conditions.

The identified parameters were water and salt GSM diffusivities. It is obvious that, although GSM provides less dependence of diffusivities on concentration through incorporation of the thermodynamic factor Γ , some dependence is still expected. An exponential form of the dependence was assumed:

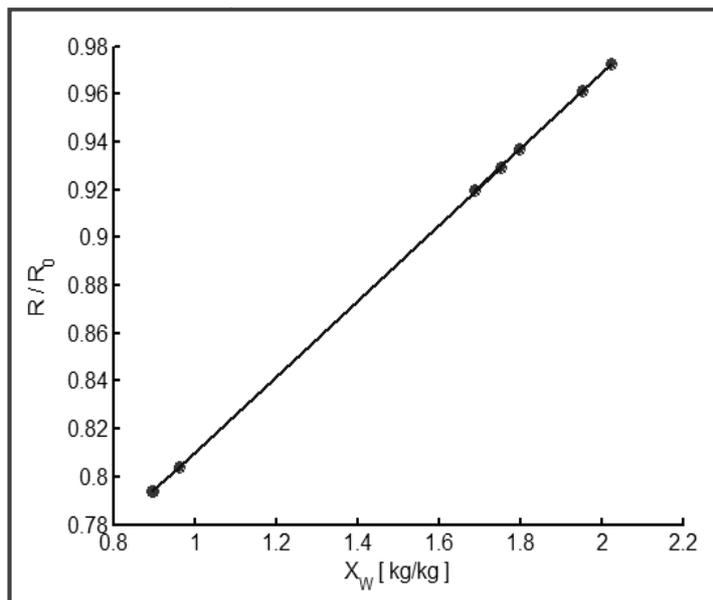
$$D_{km} = a \cdot X_w^b \quad [5.2.25.]$$

This form is typical to drying of many other biological materials (Marinos-Kouris and Maroulis, 2007). A linear dependence of diffusivity on moisture content was also tested in this work but less accurate fit was obtained.

Parameters of eq. [5.2.25.] for both salt and water were identified by optimi-

3.6. Parameter identification

Figure 5.2.4. Experimental data of linear shrinkage as a function of averaged moisture content $R = (X_w)$.



zation routine of Matlab where the goal function, being the sum of squares of differences of each experimental point value and the predicted value, was minimized. The number of experimental points was $6 \times 5 = 30$ points (6 is the number of locations on the radius where mean concentrations were measured and 5 is the number of experimental profiles at 2, 5, 9, 21 and 35 days of the experiment time). At each optimization step the complete model was solved numerically.

4. Results and discussion

All 5 experimental runs were taken into consideration and coefficients of salt and water diffusivity formulas in meat were computed by the optimization routine. The following relationships were obtained:

$$D_{sm} = 1.18 \cdot 10^{-11} \cdot X_w^{4.00} \quad [5.2.26.]$$

$$D_{wm} = 7.12 \cdot 10^{-12} \cdot X_w^{3.25} \quad [5.2.27.]$$

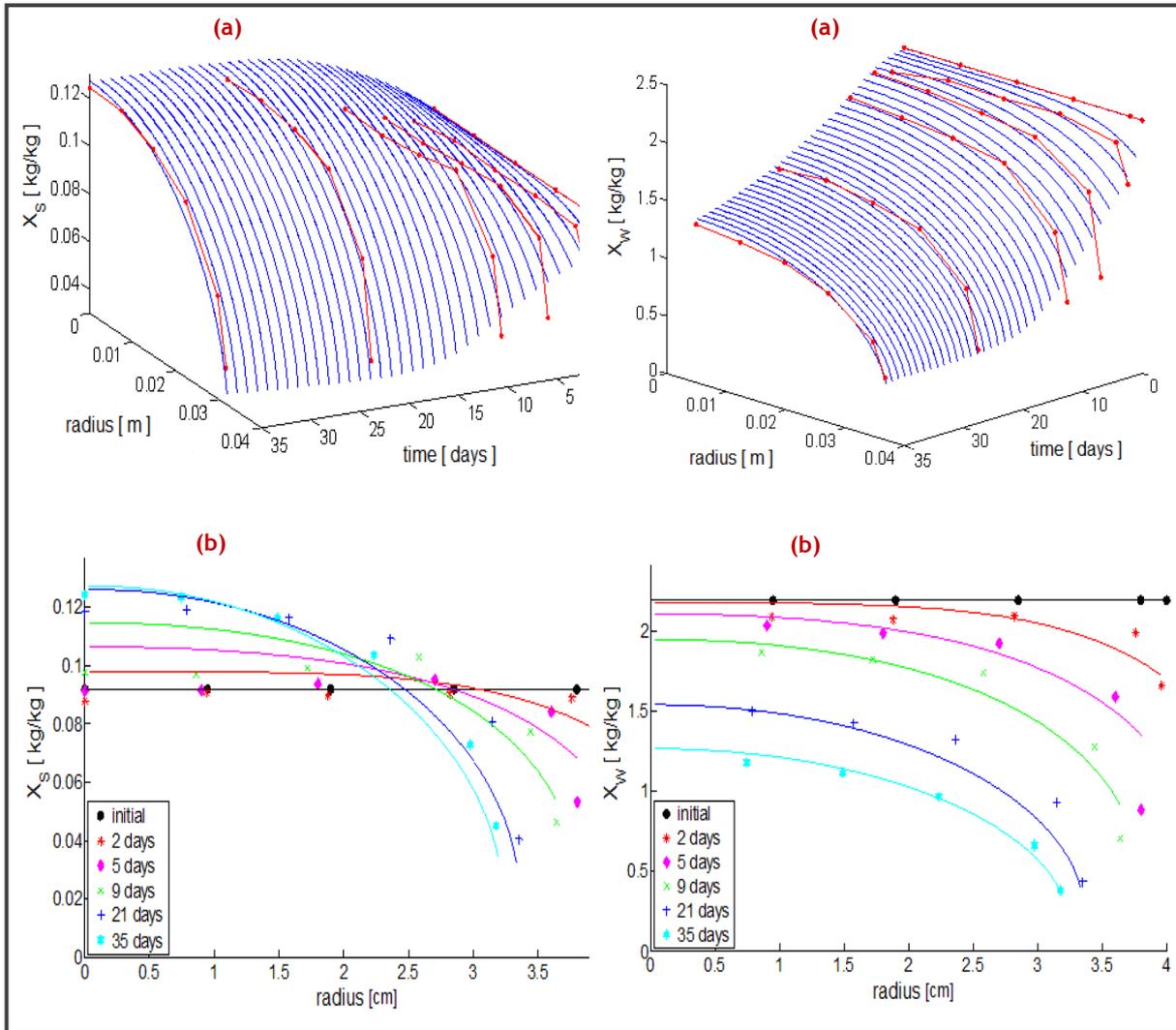
For the above diffusivities the simulated content profiles during the process lasting up to 35 days are shown in **Fig. 5.2.5a.** and **6a.** The obtained fit of the experimental and computed profile is satisfactory for water. Calculated salt content are less accurate especially for 9th and 21st day. This can be better noticed in **Fig. 5.2.5b.** and **6b.** where 2D plots of water and salt content profiles are presented. The small discrepancies in the observed profiles could be attributed

to non-idealities of the experimental system (the samples for each time were collected from different sausages) and to inherent error of salt and water concentration determination method. It is worth noting that to check the consistency of numerical salt content profile the overall balance of salt for the entire sausage was checked in each calculation step and a constant value was obtained, which is in agreement with the hypothesis of no exchange of salt between the meat matrix and the environment. The same check for the experimental data did not always yield constant result, because of the experimental differences among samples and analytical errors.

It is interesting to see that both diffusivities of water in meat and salt in meat are strongly dependent on water content and that salt diffusivity value is larger than that of water (**Fig. 5.2.7.**). The last observation was also confirmed by Fickian modelling (Boudhrioua et al., 2002). The dependence of identified diffusivities of water in meat and salt in meat on water content is shown in **Fig. 5.2.7.** for the entire content range of water of this work. Ruiz-Cabrera et al. (2004) showed in pork muscles a similar dependence of the Fickian diffusivity coefficient of water in meat on the water content; D values of this study are also shown in **Fig. 5.2.7.**

Figure 5.2.5. Experimental (points) and computed (lines) salt content profiles, (a) in 3D and (b) 2D.

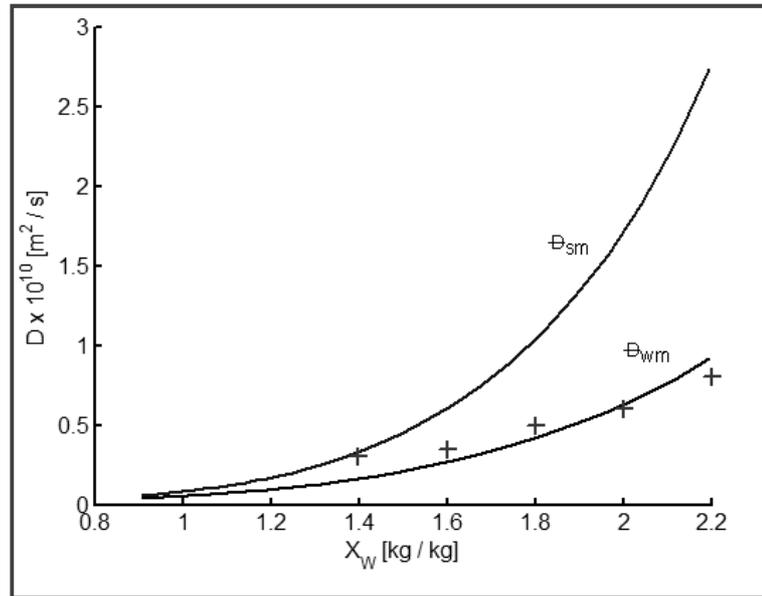
Figure 5.2.6. Experimental (points) and computed (lines) water content profiles (a) in 3D and (b) 2D.



A result with practical implications is that the initial flat salt profile is strongly deformed after 35 days of drying process. The concentration of salt becomes higher in the centre of the sausage and lower towards the surface. This salt distribution is only possible due to simultaneous water diffusion. Regarding water coeffi-

cient diffusivity values, Simal et al. (2003) obtained a lower D value ($1.07 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$), in a minced meat-based product (sobrasada) with a low water content (0.509 kg/kg dry-matter) and a high fat content (0.79 kg/kg dry-matter), being of the same order than the D_{wm} value identified in the present study for

Figure 5.2.7. Dependence of identified Stefan-Maxwell diffusivities on water content at 12 °C. Points indicate the Fickian diffusivity values of water diffusion in unsalted meat of Ruiz-Cabrera et al. (2004).



sausages with low water content. No more references on D values in minced meat products have been found. However, several studies on different muscles with water contents similar to those of the present study obtained D values of the same order than those identified from the GSM model in sausages: D values from 2.03×10^{-11} to 6.89×10^{-11} m²/s in entire pork muscles (Gou et al., 2002, 2003, 2004; Ruiz-Cabrera et al., 2004) and from 1.29×10^{-11} to 2.19×10^{-11} m²/s in fresh lean beef (Trujillo et al., 2007). Slight differences could be explained by the effect of mincing and fermentation in sausages before the drying.

Regarding salt coefficient diffusivity values, Wood (1966), Dussap et al. (1980), Fox (1980), Gravier et al. (2006), Gros et al. (1984) and Sabadini et al. (1998) obtained, through the salt uptake in pork and beef meat, D values from 1.10×10^{-10} to 2.50×10^{-10} m²/s. These values are lower than the D_{sm} value obtained in the present study. However, similar D values, from 3 to 7×10^{-10} m²/s, were obtained by Hansen et al. (2008) and Vestergaard et al. (2005, 2007), who identified the D values during the NaCl distribution in the meat matrix, as in the present study.

To extend the applicability of the GSM equation for simultaneous water and salt diffusion in meat processing, it would

be recommended to study also the process of counter-diffusion of water and salt as in meat salting process. In both cases of drying and salting the diffusivities of water and salt should be the same in the same range of contents. To prove this the continuation of the present research work is in progress.

5. Conclusions

Simulation of the drying process of fermented pork sausages can be successfully performed using the generalized Stefan-Maxwell equation for simultaneous water and salt diffusion. The obtained fit of content profiles is satisfactory in the case of water and slightly less satisfactory in the case of salt, especially in the middle of the drying process. The identified salt and water diffusivities are strongly dependent on water content and are much higher in wet than in dry meat. On the average salt diffusivity is approximately 3 times higher than that of water.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the European Community financial participation under the Sixth Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration Activities, for the Integrated Project Q-PORKCHAINS (FOOD-CT-2007-036245).

The views expressed in this publication are the only responsibility of the authors and do not necessarily reflect the views of the European Commission. Acknowledgements are extended to AGAUR (Agency for Administration for University and Research Grants) from Government of Catalonia for financing Anna Costa Corredor's doctorate studies at the University of Girona.

Nomenclature

a	constant in eq. 25	—
a_w	water activity	—
b	constant in eq. 25	—
C	total concentration	kmol/m ³
D	Fickian diffusivity for binary system	m ² /s
D	Fickian diffusivity for multicomponent system	m ² /s
D	GSM diffusivity	m ² /s
H	length of sausage	m
J	molar flux	kmol/(m ² ·s)
k_Y	mass transport coefficient	kg/(m ² ·s)
m	molality of water-salt solution	mol/litre
M	molar mass	kg/kmol
Nu	Nusselt number	—
n	number of moles	kmol
Pr	Prandtl number	—
p	pressure	Pa
P_0	atmospheric pressure	Pa
p_s	saturated water vapour pressure	Pa

[124]

r	radius related to each cell	m
R	external radius	m
R_0	initial external radius	m
Re	Reynolds number	—
R_G	universal gas constant	J/(kmol·K)
t	time	s
T	temperature	K
w_D	drying rate	kg/(m ² ·s)
X	water content per dry mass of unsalted lean meat	kg/kg
X_f	water content per dry mass of unsalted meat with fat	kg/kg
X_s	salt content per dry mass of salted meat	kg/kg
X_w	water content per dry mass of salted meat	kg/kg
\bar{X}_w	space-averaged water content per dry mass salted meat	kg/kg
x	molar fraction	—
Y_{eq}	equilibrium water content per dry mass of air	kg/kg
Y	water content per dry mass of air	kg/kg
z	distance	m
ε	coefficient of linear shrinkage	
γ	activity coefficient	—
μ	thermodynamic potential	J/kmol

Subscripts

n	number of spatial step, number of components
i, j, k	number of component
$0, s$	salt component
$1, w$	water component
$2, m$	meat matrix component

Matrix notation

()	vector
[]	square matrix

References

- AOAC (1990). Official method 950.46, Moisture in meat, B. Air drying. In: K. Helrich, *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (15th ed., Vol. II, pp. 931). Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington.
- Balaban, M., & Pigott, G.M. (1988). Mathematical model of simultaneous heat and mass transfer in food with dimensional changes and variable transport parameters. *Journal of Food Science*, 53(3), 935-939.
- Boudhrioua, N., Bonazzi, C., & Daudin, J.D. (2002). Moisture and salt profiles analysis during a diffusion process at constant temperature. In *Drying'2002-Proceedings of the 13th International Drying Symposium (IDS' 2002)*. Beijing, China, 27-30, vol. A, pp. 209.
- Comaposada, J. (1999). Sorption isotherms and water diffusivity in muscles of pork ham at different NaCl contents. *Ph.D. Thesis*, UPC, Barcelona, Spain.
- Djelveh, G., & Gros, J.B. (1988). Measurement of effective diffusivities of ionic and non-ionic solutes through beef and pork muscles using a diffusion cell. *Meat Science*, 23, 11-20.
- Dussap, G., & Gros, J.B. (1980). *Diffusion sorption model for salt in pork and beef muscle*. In Linko, P., Malkki, Y., Olkku, J. & Larinkari, J. (Eds.). *Food Process Engineering* (vol. 1, pp. 407-411). Applied Science, London.
- Fox, J.B. (1980). Diffusion of chloride, nitrite, and nitrate in beef and pork. *Journal of Food Science*, 45(6), 1740-1744.

- Gerda, P.E., & Rubiolo, A.C. (2003). A model for determination of multicomponent diffusion coefficients in foods. *Journal of Food Engineering*, 56, 401-410.
- Gou, P., Comaposada, J. & Arnau, J. (2002). Meat pH and meat fibre direction effects on moisture diffusivity in salted ham muscles dried at 5 °C. *Meat Science*, 61, 25-31.
- Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2003). NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of pork. *Meat Science*, 63, 29-34.
- Gou, P., Comaposada, J. & Arnau, J. (2004). Moisture diffusivity in the lean tissue of dry-cured ham at different process times. *Meat Science*, 67, 203-209.
- Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., & Zaritzky, N. (2006). Diffusion of sodium chloride in pork tissue. *Journal of Food Engineering*, 77, 910-918.
- Gros, J.B., Dussap, C.G., & González-Méndez, N. (1984). Engineering Sciences in the Food Industry. In B. M. McKenna (Ed.). *Engineering and food* (vol. 1, pp. 287-322). Elsevier Applied Science, London.
- Hansen, C.L., van der Berg, F., Ringgaard, S., Stødkilde-Jørgensen, H., & Karlsson, A.H. (2008). Diffusion of NaCl in meat studied by ¹H and ²³Na magnetic resonance imaging. *Meat Science*, 80, 851-856.
- Hernández, J.A., Pavón, G., & García, M.A. (2000). Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modelling food drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 45, 1-10.
- ISO 1841-2 (1996). Meat and meat products. Determination of chloride content - Part 2: Potentiometric method (Reference method). *International Organization for Standardization*, Geneva.
- ISO 936 (1998). Meat and meat products. Determination of Total Ash (Reference method). *International Organization for Standardization*, Geneva.
- Koop, J. (1988). Méthodes rapides d'analyse de la viande. *Viandes et Produits Carnés*, 9(4), 163-172.
- Krishna, R. (1987). Diffusion in multicomponent electrolyte solutions. *Chemical Engineering Journal*, 35, 19-24.
- Lima, A.G.B., Queiroz, M.R., & Nebra, S.A. (2002). Simultaneous moisture transport and shrinkage during drying of solid with ellipsoidal configuration. *Chemical Engineering Journal*, 86, 85-93.
- Marinos-Kouris D., & Maroulis Z.B. (2007). Transport Properties in the Drying of Solids, in *Handbook of Industrial Drying*, A.S. Mujumdar (ed.), Chapter 4, Taylor and Francis, N.Y, pp. 81-119.
- May, B.K., & Perré, P. (2002). The importance of considering exchange surface area reduction to exhibit a constant drying flux period in foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 54, 271-282.
- Mulet, A. (1994). Drying modelling and water diffusivity in carrots and potatoes. *Journal of Food Engineering*, 22, 329-348.
- Oztan, A., & Mutlu, M. (2005). Mass transfer through meat. Part I. Determination of diffusion coefficient of nitrite by time lag method. *Journal of Food Engineering*, 67(4), 387-391.
- Pakowski, Z., Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2004). Simultaneous water and salt diffusion in meat during drying and curing ham. In *Drying 2004 - Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*. São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. A, pp. 518-525.
- Payne, M.R., & Morison, K.R. (1999). A multi-component approach to salt and water diffusion in cheese.

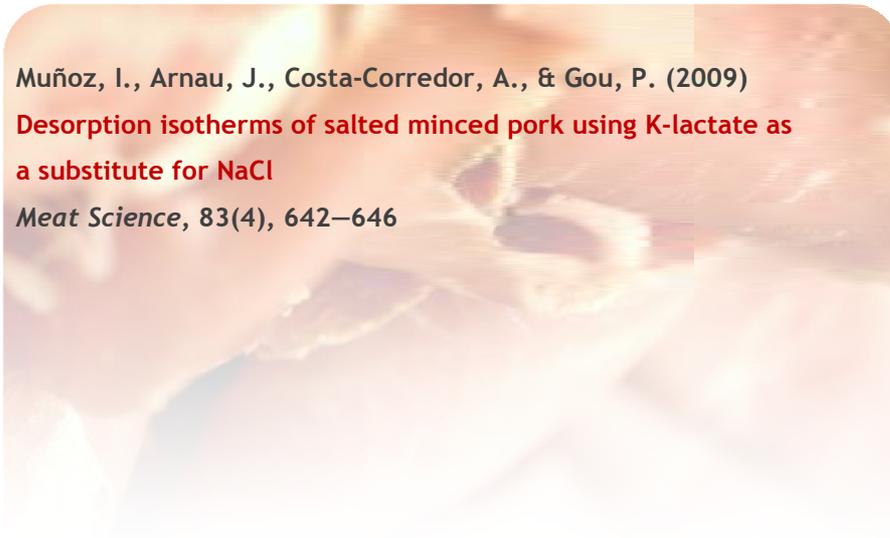
- International Dairy Journal*, 9, 887-894.
- Ruiz-Cabrera, M.A., Gou, P., Foucat, L., Renou, J.P., & Daudin, J.D. (2004). Water transfer analysis in pork meat supported by NMR imaging. *Meat Science*, 67, 169-178.
- Ruiz-López, I., Córdova, A. V., Rodríguez-Jimenes, G. C., & García-Alvarado, M. A. (2004). Moisture and temperature evolution during food drying: effect of variable properties. *Journal of Food Engineering*, 63, 117-124.
- Sabadini, E., Carvalho B.C., do A. Sobral, P.J., & Hubinger, M.D. (1998). Mass transfer and diffusion coefficient determination in the wet and dry salting of meat. *Drying Technology*, 16, 2095-2115.
- Simal, S., Femenia, A., Garcia-Pascual, P., & Rossell, C. (2003). Simulation of the drying curves of a meat-based product: effect of the external resistance to mass transfer. *Journal of Food Engineering*, 58, 193-199.
- Taylor, R., & Krishna, R. (1993). *Multicomponent mass transfer*, Wiley Series in Chemical Engineering (1st ed., pp 50-66), John Wiley and Sons, New York.
- Trujillo, F. J., Ching Yeow, P., & Tuan Pham, Q. (2003). Moisture sorption isotherm of fresh lean beef and external beef fat. *Journal of Food Engineering*, 60, 357-366.
- Trujillo, F. J., Wiangkaew, C., & Pham, Q. T. (2007). Drying modeling and water diffusivity in beef meat. *Journal of Food Engineering*, 78, 74-85.
- Ünal, B.S., Erdoğan, F., Ekiz, H.I., & Özdemir, Y. (2004). Experimental theory, fundamentals and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats. *Journal of Food Engineering*, 65, 263-272.
- Vestergaard, C., Andersen, B.L., & Adler-Nissen, J. (2007). Sodium diffusion in cured pork determined by ²²Na radiology. *Meat Science*, 76(2), 258-265.
- Vestergaard, C., Risum, J., & Adler-Nissen, J. (2004). Quantification of salt concentrations in cured pork by computed tomography. *Meat Science*, 68, 107-113.
- Wang, N., & Brennan, J. G. (1995). A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato. *Journal of Food Engineering*, 24, 47-60.
- Wood, F.W. (1966). The diffusion of salt in pork muscle and fat tissue. *Journal of Science and Food Agriculture*, 17, 138-140.
- Zemaitis, Jr. J.F., Clark, D.M., Rafal, M., & Scrimmer, N.C. (1986). *Handbook of aqueous electrolyte thermodynamics* (1st ed., pp. 55-60 and 238-241), AIChE, New York.

APARTAT 3:

EFFECTE DE L'APLICACIÓ DE LACTAT POTÀSSIC COM A SUBSTITUT DE NaCl SOBRE LES ISOTERMES DE DESORCIÓ DE CARN PICADA DE PORC



Muñoz, I., Arnau, J., Costa-Corredor, A., & Gou, P. (2009)
Desorption isotherms of salted minced pork using K-lactate as
a substitute for NaCl
Meat Science, 83(4), 642–646



**DESORPTION ISOTHERMS OF SALTED MINCED PORK USING K-LACTATE AS A
SUBSTITUTE FOR NaCl**

I. Muñoz, J. Arnau, A. Costa-Corredor, P. Gou
IRTA – Finca Camps i Armet, E-17121 Monells, Spain

Abstract

The aim of this study was to obtain and compare water desorption isotherms of ground meat containing NaCl (0.107 kg NaCl/kg raw-meat dry matter) and/or K-lactate as NaCl substitute at two different levels of molar substitution (30% and 100%). A thin layer of salted ground meat was dried and sampled at pre-determined sampling times. The moisture content of the samples and their water activities (a_w) were measured at 5 °C and 25 °C.

Results showed that ground meat with NaCl and/or different K-lactate contents had a similar water desorption isotherm for a_w ranging from 0.7 to 1.0. Below 0.7, the water equilibrium content fell with small decreases in a_w faster for meat with NaCl than for meat with K-lactate. K-lactate could reduce the excessive hardening at the surface of salted meat products. Experimental desorption isotherms were compared to those estimated using two approaches of the Ross equation. Models provided a good fit for the experimental data.

Keywords

Potassium lactate, reduced salt meat products, desorption isotherms, raw-dry meat products, Ross equation

1. Introduction

Dry-cured meat products are widely consumed in the European Union. They are elaborated with whole muscles or mixtures of ground lean and fat, common salt, sugar, curing salts and spices, fermented or not, dried and ripened. Sodium chloride (NaCl) is an essential ingredient in dry-cured meat products because it decreases water activity (a_w) and contributes to water-holding capacity, colour, texture and flavour (Hamm, 1972; Wirth, 1989; Ruiz-Ramírez, Arnau, Serra & Gou, 2006; Morales, Serra, Guerrero & Gou, 2007). However, due to the harmful cardiovascular effects of excessive sodium intake (Hermansen, 2000), there is a concern to reduce sodium content in dry-cured meat products (AESAs, 2005).

Potassium lactate is one of the possible substitutes for NaCl. K-lactate increases colour, improves juiciness and tenderness, enhances flavour attributes in dry products (Terrell, 1983) and extends shelf-life as it decreases microbial growth in meat (Choi & Chin, 2003; Pipek et al., 2005; Prasai et al., 1992). However, small calibre fermented sausages with different levels of NaCl substitution by K-lactate had a lower consumer acceptability when these substitution levels were above 30% (Guàrdia, Guerrero, Gelabert, Gou & Arnau, 2006). This could be related to the off-flavour produced by K-lactate,

which was detected by trained panellists (Gelabert, Gou, Guerrero & Arnau, 2003).

The moisture content of a food material in equilibrium with drying air is included in most drying models. The NaCl substitution by K-lactate in meat products intended to be dried could modify their sorption isotherms and therefore the drying kinetics, as the driving force necessary for mass transfer in drying processes is provided by the difference between the a_w at the surface and the air relative humidity.

The drying process for dry-cured meat products is carried out at variable temperature and air relative humidity. For instance, dry-cured ham is usually kept below 5 °C and at 75–80% relative humidity during the post-salting period, while during the ripening/drying stage the temperature ranges from 14 °C to 34 °C and the relative humidity from 80% to 60% (Arnau, 2004; Pegg, 2004). The decrease of air relative humidity promotes acceleration in the drying rate of the surface. When the drying rate of the surface is faster than the diffusion rate of water from the inner part of the product towards the surface, the water content at the surface decreases towards the value in equilibrium with the drying air. A low air relative humidity would reduce the water content at the surface, which would increase hardness (Serra, Ruiz-Ramírez, Arnau & Gou, 2005; Ruiz-Ramírez, Arnau, Serra & Gou, 2005a;

Ruiz-Ramírez et al., 2006). Differences in hardness between the surface and the inner part were related to the crust development in loin (Ruiz-Ramírez, Serra, Arnau & Gou, 2005b). Therefore, the knowledge of the sorption isotherms could be important for the proper understanding of the drying process and crust development.

Sorption isotherms can be modelled with different types of equations. Models can be based on equations with theoretical basis, partially theoretical (or empirical) and fully empirical (Mujica, Martínez, Bercovich, Bonino & Alzamora, 1989). Some of the best models used to characterise sorption isotherms are BET (Brunauer, Emmet, Teller) and GAB (Guggenheim, Anderson, de Boer) equations. Several attempts have been undertaken to predict sorption isotherms of complex solutions. Some of these methods are the linear mixing rule (Briggs, 1932; Labuza, 1968), Salwin and Slawson method (Salwin & Slawson, 1959) and the Ross equation (Ross, 1975). The Ross equation was satisfactorily applied to salted meat by Comaposada, Gou, Pakowski and Arnau (2000a). One of the problems is that, usually, a given equation is not able to predict sorption isotherms through the whole range of a_w ; especially in salted meat products due to the breaking point that is observed due to sodium chloride crystallization.

The aims of this work were to compare the desorption isotherms of ground meat with NaCl and K-lactate as NaCl substitute (in the range of a_w between 0.5 and 0.9) at 5 °C and 25 °C and to evaluate the predicted desorption isotherms obtained with Ross equation with experimental results.

2. Materials and methods

2.1. Salted ground meat preparation

Three *gluteus medius* (GM) muscles obtained from hams at a commercial slaughterhouse were ground with a 6 mm diameter plate, and, then, homogenized before the addition of NaCl and/or K-lactate. The mean moisture content of the ground meat was determined in order to calculate the amount of salts to be added. The salted meat samples were prepared by adding 0.107 kg NaCl per kg of raw-meat dry matter (dm). Samples with a substitution of NaCl by K-lactate were also prepared: 0.071 kg K-lactate + 0.075 kg NaCl/kg dm (30% molar substitution) and 0.236 kg K-lactate/kg dm (100% molar substitution). NaCl of for-analysis quality (Panreac Química SA, Barcelona, Spain) and K-lactate food-grade quality (purity 60 %; PURAC Bioquímica, SA, Montmeló, Barcelona, Spain) were used. The same experimental design was repeated in two additional batches (three GM in each batch).

2.2. Desorption isotherm methodology

A layer (approximately 2 mm thick) of salted ground meat was placed on a plate inside a vacuum drying chamber (0.94 m long × 0.32 m wide × 0.36 m deep) and dried at a temperature of 20 ± 1 °C and at a pressure of 40 mbar. This methodology increased the speed of drying with respect to convective drying, thus reducing the time needed for desorption isotherm determinations. Moreover, unlike other traditional methods, such as COST 90 (Wolf, Spiess & Jung, 1985), no problems arose out of microbial growth in the samples, and points of interest could be determined easily. Batches were dried and samples were taken at different pre-determined sampling times (0, 15, 65, 105, 145, 215, 285, 315, 330, 345, 360, 375, 390, 405, 420, 435 min). The samples showed weight losses between 0% and 65%. At each sampling time the samples were homogenized and then divided into two portions. One portion was vacuum packaged and placed in a chamber for one week at 5 °C, and then a further 12 h for temperature equilibration at 5 °C or 25 °C to ensure homogenization before measuring a_w and moisture content. The other portion of the samples was placed back into the drying chamber to continue drying until the next sampling time. a_w measurement was carried out at 5 °C and 25 °C with a Novasina AW SPRINT - TH 500 instrument (Axair Ltd., Pfäffikon,

Switzerland) that allows temperature-controlled measurements. Moisture measurements were determined by drying at 103 ± 2 °C (AOAC, 1990).

2.3. Desorption isotherm methodology validation

The method used was validated for obtaining the desorption isotherms by comparing desorption isotherms for the mixture of meat and 0.107 kg NaCl/kg dm using COST 90 method.

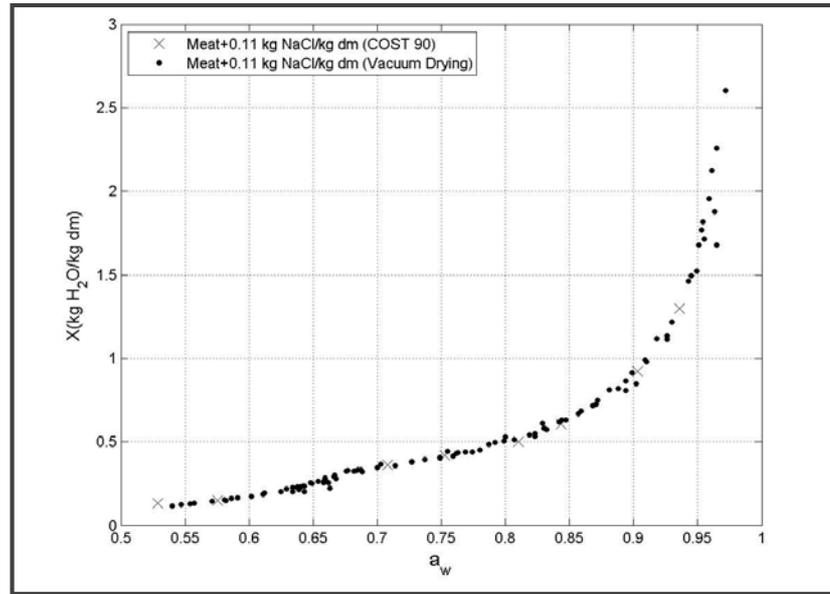
The experiment was done in triplicate at 5 °C and 25 °C. **Fig. 5.3.1.** shows COST 90 results obtained at 25 °C vs. data obtained at 25 °C using vacuum drying. Results showed that there were no differences between the two methods. Similar results were obtained at 5 °C (results not shown).

2.4. Meat, NaCl and K-lactate experimental points for the determination of desorption isotherm equations

Meat experimental points were obtained by vacuum drying the minced meat, using the methodology as detailed in Section 2.2. However, the sampling times were different (35, 70, 105, 140, 155, 170, 185, 200 and 215 min) (results not shown).

For NaCl isotherm, experimental data were taken from the study of Chirife and Resnick (1984); but only data in the range 0.75-0.98 at 25 °C were considered for

Figure 5.3.1. Equilibrium water content (X , kg H₂O/kg dm) vs water activity at 25 °C for ground muscle salted with NaCl using COST 90 method and vacuum drying.



model fitting. For K-lactate, experimental points were determined using COST 90 (results not shown).

2.5. Mathematical models

Using experimental data from individual components (meat, NaCl and K-lactate) individual desorption isotherms were modelled using BET (Eq. [5.3.1.]) and GAB (Eq. [5.3.2.]) equations.

$$X = X_B \frac{C_B a_w}{(1 - a_w)[1 + (C_B - 1)a_w]} \quad [5.3.1.]$$

X_B, C_B are model parameters.

$$X = X_G \frac{C_G K_s a_w}{(1 - K_s a_w)[1 + (C_G - 1)K_s a_w]} \quad [5.3.2.]$$

X_G, C_G, K_s are model parameters.

The Ross equation (Eq. [5.3.3.]) was applied to predict the a_w of different mixtures (meat and NaCl; meat, NaCl and K-lactate and meat and K-lactate). This equation states that the a_w of a complex aqueous mixture is approximately equal to the product of the a_w of the different components of the mixture calculated as if all the water contained in the mixture is available to each component independently.

$$a_{w_{mix}} = (a_{w1}) \cdot (a_{w2}) \cdot \dots \cdot (a_{wn}) \quad [5.3.3.]$$

$a_{w_{mix}}$ is the a_w of the mixture for a given water content.

$a_{w1}, a_{w2}, \dots, a_{wn}$ are the a_w of individual components of the mixture for that given water content.

Models were fitted and simulated using Matlab (Mathworks, 2007). R^2 and the root mean squared error (RMSE) were used to evaluate model fitting.

The GAB and Ross equations were found to be the best equations for predicting desorption isotherms of individual components and meat mixtures, respectively, in Comaposada et al. (2000a), where several models were tested. More recently Rougier, Bonazzi and Daudin (2007) also successfully applied the Ross equation for modelling mixtures of gelatine and NaCl.

For modelling meat isotherm, GAB and BET equations were tested to fit experimental data. GAB equation provided the best fit and was used to fit experimental data at 5 °C and 25 °C. In a similar way, the model for K-lactate was calculated. GAB and BET equations were combined for modelling experimental data as together they provided a better fit than when using only GAB or BET equations (results not shown).

Sorption isotherm for NaCl has a typical shape described for crystalline water-soluble solids. It is composed of a solid sorption section, a saturated solution section and a diluted solution section. In this work only the diluted and saturation solution sections were modelled, as the solid sorption part was not within the sorption isotherm range of study. Sorption isotherms for NaCl diluted solution section at 5 °C and 25 °C were

fitted using the GAB equation with data published by Chirife et al. (1984) as it has already been explained in Section 2.4. As NaCl sorption isotherm does not change significantly with temperature (Chirife & Resnik, 1984), the same equation was used for both temperatures, using data at 25 °C. Diluted solution section was considered for a_w values above the value at which crystallization begins (the crystallization value).

To determine the crystallization value of NaCl in meat and NaCl mixtures two approaches were considered, thus resulting in two isotherm models. In model 1, the crystallization value was the a_w at saturation (0.7545), corresponding to a water content of 2.8 kg H₂O/kg NaCl. This approach was used by Comaposada et al. (2000a) and Rougier et al. (2007). However, they observed that the exact a_w value at which crystallization began in the model was too high in comparison with the experimental data. Rougier et al. (2007) related this difference to the probable ion-protein interactions neglected in the simple model, and proposed the use of an empirical interaction factor. In model 2, an empirical approach was also considered to predict the a_w when crystallization begins. For each mixture and at each temperature (5 °C and 25 °C), the Ross equation was calculated, using different predicted crystallization values for NaCl. The predicted

crystallization value for NaCl which produced the best fitting for the experimental data of mixtures (lowest RMSE) was selected.

3. Results and discussion

3.1. *Desorption isotherms of meat containing NaCl and K-lactate*

Equilibrium water content vs. a_w curve at 5 °C (**Fig. 5.3.2a.**) showed a similar pattern to that at 25 °C (**Fig. 5.3.2b.**). In all cases equilibrium water content fell sharply with a_w from high a_w values to 0.92, and after this point tended to fall more slowly. For a given equilibrium water content, a_w was higher at 25 °C than at 5 °C. From the water content point of view, results showed that for a given a_w , equilibrium water content was higher for 5 °C than for 25 °C.

Desorption isotherms of salted meat with or without K-lactate were very similar in the a_w range 0.7–0.95 for both temperatures. For a_w values ranging from 0.5 to 0.7 desorption isotherms were significantly different depending on the treatment used. **Fig. 5.3.3.** shows equilibrium water content vs. a_w at 5 °C and 25 °C for a_w ranging from 0.5 to 0.75. A small decrease in a_w between 0.65 and 0.7 produced a sharper decrease in the equilibrium water content of mixtures with added NaCl compared to the decrease observed for meat salted with 30% K-lactate; the latter more

pronounced than that of meat salted with 100% K-lactate. Other studies in meat products with added NaCl (Comaposada, Gou & Arnau, 2000b; Lioutas, Bechtel & Steinberg, 1984; Mujica et al., 1989) also found this “breaking point” in the sorption isotherms for a_w below 0.75, but they could not define at which exact a_w it occurred because there were very few experimental data in the range 0.6–0.75. This breaking point was explained by the fact that NaCl crystallizes below a a_w of 0.75 (saturated salt a_w).

The water contents at equilibrium were found to be below 0.4 kg H₂O/kg dm for a_w between 0.65–0.7. At this low water contents a slight decrease in water content was demonstrated to produce a high increase of hardness in muscles of dry-cured hams (Serra et al., 2005; Ruiz-Ramírez et al., 2006). Ruiz-Ramírez et al. (2005b) related excessive hardness at the surface of dry-cured loin with the perception of crust by trained panellists. In the mixture with 100% K-lactate substitution, the equilibrium water content decreased more slowly than in the other mixtures, which means that using K-lactate instead of NaCl may contribute to reduce the excessive hardness at the surface, and consequently the crust development.

Figure 5.3.2. Equilibrium water content (X, kg H₂O/kg dm) vs. water activity at (a) 5 °C and (b) 25 °C for ground muscle salted with NaCl, NaCl+K-lactate or K-lactate.

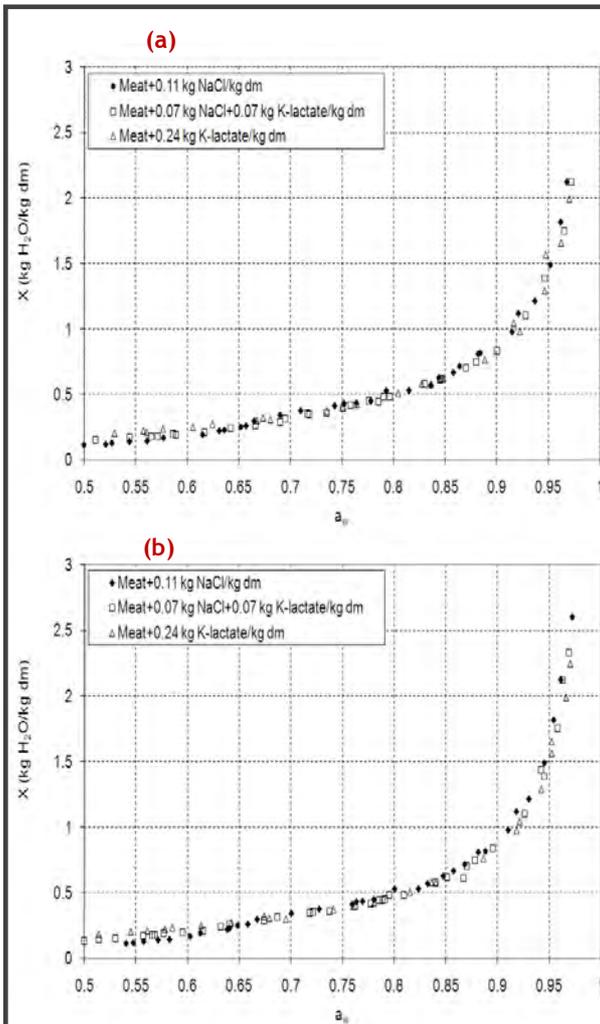
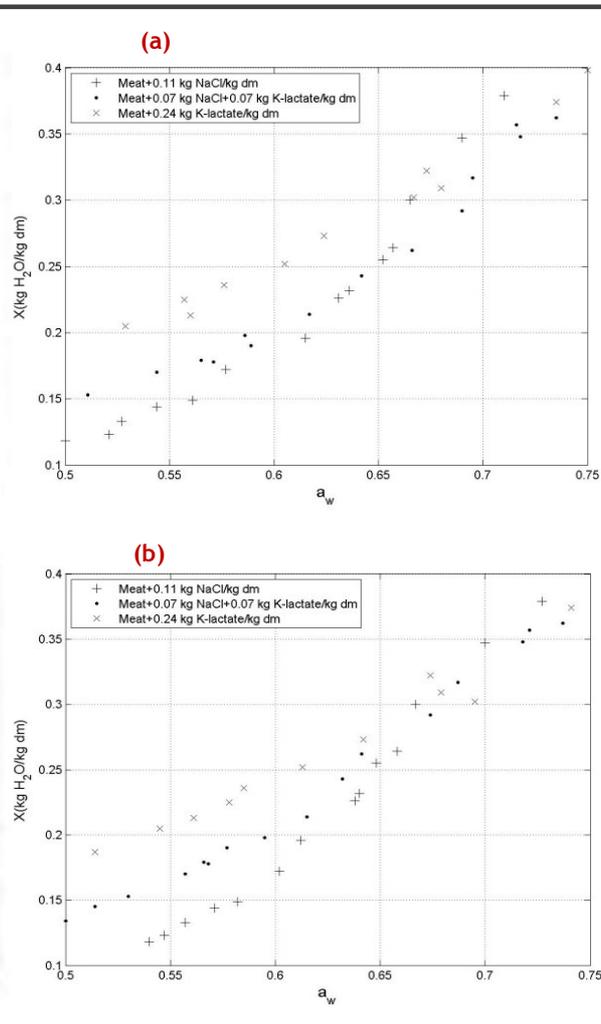


Figure 5.3.3. Equilibrium water content (X, kg H₂O/kg dm) vs. water activity at (a) 5 °C and (b) 25 °C for ground muscle salted with NaCl, NaCl+K-lactate or K-lactate in a water activity range between 0.5 and 0.75.



3.2. Desorption isotherm models

BET and GAB equation parameters for the desorption isotherms of individual mixture components at 5 °C and 25 °C are detailed in **Table 5.3.1**. For K-lactate, a BET equation was used for high a_w , as the

GAB equation did not fit well the observed experimental data (results not shown).

Table 5.3.2. shows the R^2 and RMSE of the Ross equation used to predict the a_w of mixtures of meat with NaCl, K-

Table 5.3.1. GAB equation parameters for mixture components (meat, NaCl and K-Lactate) at 5 °C and 25 °C.

TEMPERATURA (°C)	GAB MODEL PARAMETERS		
	X_m	C_G	K_S
5 °C			
Meat	0.06038	6555	0.976
NaCl	-0.5549	0.5985	2.491
K-lactate	0.3654 ^a	10321 ^a	0.9751 ^a
25 °C			
Meat	0.05202	7239	0.9826
NaCl	-0.5549	0.5985	2.491
K-lactate	0.386 ^b	2.261 ^b	0.9697 ^b

^a These values were valid for a_w below 0.896. For values of a_w above 0.896 a BET equation was used with $X_m=0.3005$ $C_B=23850$.

^b These values were valid for a_w below 0.92. For values of a_w above 0.92 a BET equation was used with $X_m=0.2769$ $C_B=1.919$.

Table 5.3.2. Model fitness (R^2 and RMSE) of models 1 and 2 for different mixtures at 5 °C and 25 °C.

MIXTURES	MODEL	R^2	RMSE
Temperature: 5 °C			
Meat + NaCl	1	0.9304	0.0378
	2	0.9841	0.0181
Meat + NaCl + K-lactate	1	0.9230	0.0389
	2	0.9961	0.0088
Meat + K-lactate	1	0.9943	0.0114
Temperature: 25 °C			
Meat + NaCl	1	0.9547	0.0295
	2	0.9847	0.0171
Meat + NaCl + K-lactate	1	0.9599	0.0286
	2	0.9895	0.0146
Meat + K-lactate	1	0.9708	0.0260

lactate or a mixture of NaCl and K-lactate at 5 °C and 25 °C. Results were better for model 2 than model 1 in mixtures with NaCl.

The lowest RMSE of the Ross equation (model 2) for mixtures were obtained with the following predicted crystallization values of NaCl: for mixtures of NaCl and meat, $a_w = 0.831$ at 5 °C and $a_w = 0.809$ at 25 °C; for mixtures of NaCl, K-lactate and meat, $a_w = 0.873$ at 5 °C and $a_w = 0.831$ at 25 °C.

Fig. 5.3.4. shows experimental points vs. predicted isotherm (models 1 and 2) for each mixture at 5 °C in the a_w range 0.5–0.75. The experimental points vs. predicted isotherms at 25 °C are not shown. Models 1 and 2 fitted the experimental data for all the treatments for $a_w > 0.7$ for mixtures including NaCl and throughout the range of study for mixtures of meat and K-lactate fairly accurately. The main differences between the experimental data and the calculated model were in model 1 for mixtures including NaCl and at a_w below 0.7, where there is NaCl crystallization. For $a_w < 0.7$, model 2 fitted the experimental data more accurately. The reason is that model 2 depicted NaCl crystallization better than model 1. However, according to the experimental data for mixtures of NaCl and meat (**Fig. 5.3.5a.**), the 'breaking point' was between a_w of 0.65 and 0.7, but for the model this point was around 0.71.

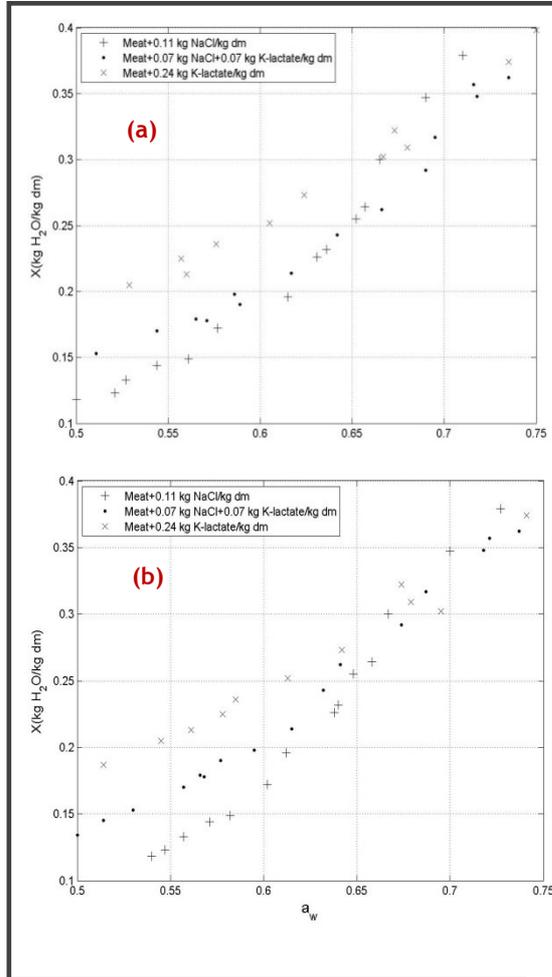
However, the experimental data below the "breaking point" were very well represented by the model for the mixtures including NaCl (**Fig. 5.3.5a.** and **b.**).

For a_w ranging from 0.5 to 0.75, water content fell more sharply with a_w reduction (breaking point) in mixtures containing NaCl than in mixtures containing K-lactate. Moreover, with 30% molar substitution of NaCl by K-lactate, the "breaking point" appeared at lower a_w than for mixtures containing only NaCl, which was more evident at 25 °C, due to a decrease in NaCl content, which is in accordance with previous works (Comaposada et al., 2000b; Lioutas et al., 1984).

4. Conclusion

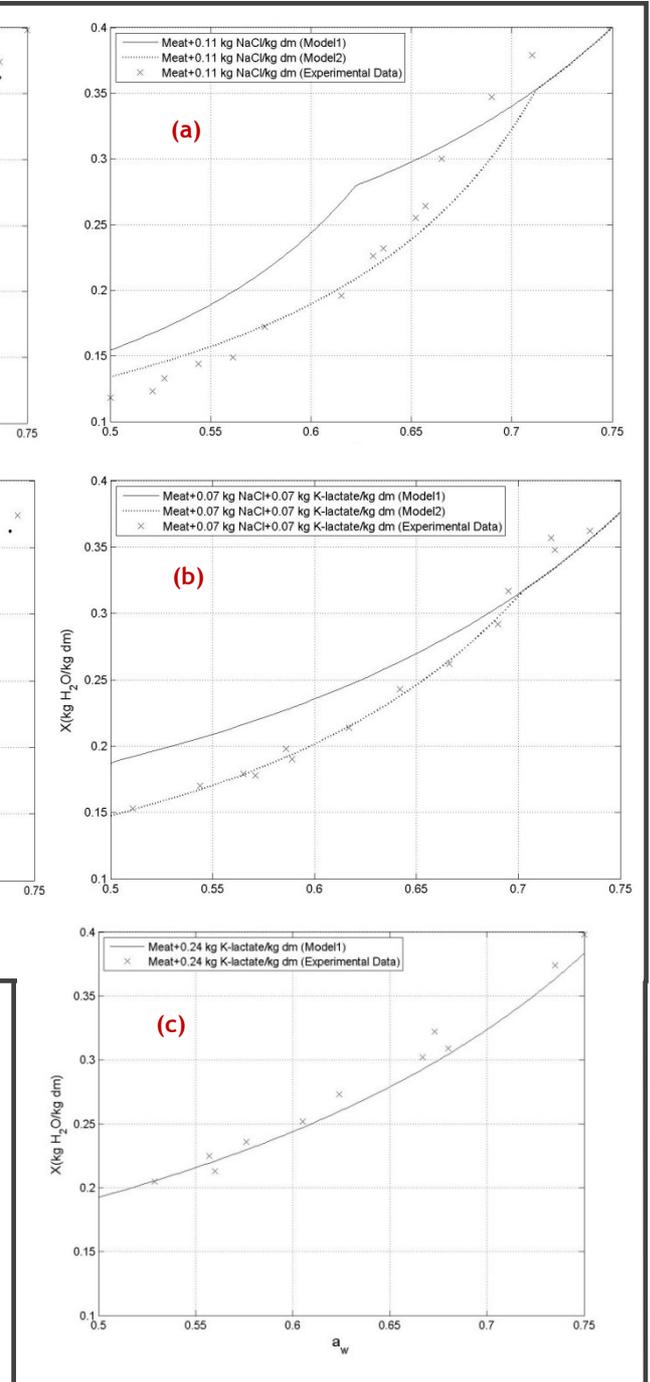
Ground meat containing NaCl has similar water desorption isotherms at 5 °C and at 25 °C for mixtures of ground meat and NaCl with a 30% or 100% molar substitution of NaCl by K-lactate from 0.7 to 0.95 a_w values. A small decrease in a_w between 0.65-0.7 produced a sharper decrease in the equilibrium water content of mixtures with added NaCl. However, this decrease in water content is lower when NaCl is substituted by K-lactate. According to the results obtained, the substitution of NaCl by K-lactate in order to reduce sodium intake is expected to reduce excessive

Figure 5.3.4. Equilibrium water content (X , kg H_2O /kg dm) vs. water activity at (a) 5 °C and (b) 25 °C for ground muscle salted with NaCl, NaCl+K-lactate or K-lactate in a water activity range between 0.5 and 0.75.



hardening at the surface when a_w at the surface is below 0.7 and, consequently, the risk of crust development in dry-cured meat products such loin and ham. A technological advice for producers would be to maintain a_w over 0.7 or use K-lactate as a protector against excessive hardening.

Figure 5.3.5. Experimental data and calculated sorption isotherms for mixtures at 5 °C in a water activity range between 0.5 and 0.75 (models 1 and 2) for (a) meat + NaCl, meat + NaCl + K-lactate and (c) meat + K-lactate.



Theoretical models for desorption isotherms obtained using the Ross equation showed a good fit for the experimental results and they were improved when in the model isotherm for NaCl the a_w at which crystallization begins was determined following an experimental approach.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the European Community financial participation under the Sixth Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration Activities, for the Integrated Project Q-PORKCHAINS FOOD-CT-2007-036245. Also we would like to thank you the reviewers for their comments and suggestions on the manuscript.

The views expressed in this publication are the sole responsibility of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the European Commission.

References

- AESA (2005). Agencia Española de Seguridad Alimentaria. Estrategia NAOS para la nutrición, actividad física y prevención de la obesidad. *Ministerio de Sanidad y Consumo, Government of Spain*.
- AOAC (1990). Official method 950.46, Moisture in Meat, B. Air Drying. In K. Helrich, *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (Fifteenth Edition, Vol. II) (pp. 931). Arlington (USA): Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Arnau, J. (2004). Ham production. In W. K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopaedia of Meat Sciences* (pp. 557). Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- Briggs, D. R. (1932). Water relationships in colloids. S. "Bound" water in colloids. *Journal of Physical Chemistry*, 36(1), 367-386.
- Chirife, J., & Resnik, S. L. (1984). Unsaturated solutions of sodium chloride as reference sources of water activity at various temperatures. *Journal of Food Science*, 49, 1486-1488.
- Comaposada, J., Gou, P., Pakowski, Z., & Arnau, J. (2000a). Desorption isotherms for pork meat at different NaCl contents and temperatures. *Drying Technology*, 18, 723-746.
- Comaposada, J., Gou, P., & Arnau, J. (2000b). Theoretical models for sorption isotherms obtained with Ross method of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55, 291-295.
- Choi, S. H., & Chin, K. B. (2003). Evaluation of sodium lactate as a replacement for conventional chemical preservatives in comminuted sausages inoculated with *Listeria monocytogenes*. *Meat Science*, 65, 531-537.
- Gelabert, J., Gou, P., Guerrero, L., & Arnau, J. (2003). Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages. *Meat Science*, 65, 833-839.
- Guàrdia, M. D., Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., & Arnau, J. (2006). Consumer attitude towards sodium reduction in meat products and acceptability of fermented sausages with reduced sodium content. *Meat Science*, 73, 484-490.
- Hamm (1972). *Kolloidchemie des Fleisches. Das Wasserbindungsvermo-*

- gen des Muskeleiweisses in Theorie und Praxis, Paul Parey, Berlin.
- Hermansen, K. (2000). Diet blood pressure and hypertension. *British Journal of Nutrition*, 83, 113-119.
- Labuza, T. P. (1968). Sorption Phenomena. *Food Technology*, 22, 263-272.
- 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.
- Mathworks (2007). *MATLAB*, Mathworks, USA, www.mathworks.com.
- Morales, R., Serra X., Guerrero, L., & Gou, P. (2007). Softness in dry-cured porcine biceps femoris muscles in relation to meat quality characteristics and processing condition. *Meat Science*, 77, 662-669.
- Mujica, F., Martinez, E. J., Bercovich, F. C., Bonino, N. B., & Alzamora, S. M. (1989). Sorption properties of dry cured ham. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 22, 89-92.
- Pegg, R. B. (2004). Production procedures. In W. K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopaedia of Meat Sciences* (pp. 359). Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- Pipek, P., Houska, M., Jelenikova, J., Kyhos, K., Hoke, K., & Sikulova, M. (2005). Microbial decontamination of beef carcasses by combination of steaming and lactic acid spray. *Journal of Food Engineering*, 67, 309-315.
- Prasai, R. K., Acuff, G. R., Lucia, L. M., Morgan, J. B., May, S. G., & Savell, J. W. (1992). Microbial effects of acid decontamination of pork carcasses at various locations in processing. *Meat Science*, 32, 413-423.
- Ross, K. D. (1975). Estimation of water activity in intermediate moisture foods. *Food Technology*, 29, 26-30.
- Rougier, T., Bonazzi C., & Daudin, J. D. (2007). Modeling incidence of lipid and sodium chloride contents on sorption curves of gelatine in the high humidity range. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1798-1807.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2005a). Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science*, 70, 579-587.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Arnau, J., & Gou, P. (2005b). Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin. *Meat Science*, 69, 519-525.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2006). 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. *Meat Science*, 72, 185-194.
- Salwin, H., & Slawson, V. (1959). Moisture transfer in combinations of dehydrated foods. *Food Technology*, 13, 715-717.
- 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.
- Terrell, R. N. (1983). Reducing the sodium content of processed meats, *Food Technology*, 37, 66.

Wirth, F. (1989). Reducing the common salt content of meat products: possible methods and their limitations. *Fleischwirtschaft*, 69, 589-593.

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 (Eds.), *Properties of water in foods* (pp. 661-679). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.

APARTAT 4:

CARACTERITZACIÓ FÍSICOQUÍMICA I AVALUACIÓ SENSORIAL DE PERNILS CURATS AMB REDUCCIÓ DEL CONTINGUT DE SAL I/O ADDICIÓ DE LACTAT POTÀSSIC



Costa-Corredor, A., Serra, X., Arnau, J., & Gou, P. (2009)
Reduction of NaCl content in restructured dry-cured hams:
Post-resting temperature and drying level effects on
physicochemical and sensory parameters
Meat Science, 83(3), 390–397

REDUCTION OF NAACL CONTENT IN RESTRUCTURED DRY-CURED HAMS: POST-RESTING TEMPERATURE AND DRYING LEVEL EFFECTS ON PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PARAMETERS

A. Costa-Corredor, X. Serra, J. Arnau, P. Gou
IRTA – Finca Camps i Armet, E-17121 Monells, Spain

Abstract

The effects of post-resting temperature (5 °C, 15 °C and 25 °C) and drying level (low and high, corresponding to final water contents (w/w) of 57% and 50%, respectively) were evaluated in restructured dry-cured hams. The reduction of NaCl content, with and without the addition of K-lactate as NaCl substitute was also evaluated. Physicochemical and instrumental colour and texture (Stress Relaxation test) parameters and sensory attributes were measured.

The main effects of reducing the NaCl addition from 30 g/kg to 15 g/kg in restructured dry-cured hams were the reduction of saltiness and the increase of a_w , proteolysis and softness. The addition of K-lactate (19.7 g/kg) contributed to reduce these effects. Hams from high drying level had a longer processing time and a higher proteolysis index, but lower water content and harder texture. The increase of post-resting temperature to above 5 °C reduced the processing time and the metallic flavour, but at 25 °C restructured hams were spoiled. Therefore, the problems due to the reduction of NaCl to 15 g/kg in restructured dry-cured hams can be reduced by adding K-lactate and drying at 15 °C (after 3.5 months of resting at 5 °C) until a final weight loss of around 45% is reached.

Keywords

Restructured ham, dry-cured ham, sodium reduction, potassium lactate, texture, proteolysis, sensory analysis.

1. Introduction

In recent years, an increased effort has been made to reduce the amount of salt in foodstuffs (SANC, 2003; AESAN, 2005; FSAI, 2008) due to the adverse cardiovascular effects of an excessive sodium intake on hypertension (Kaplan, 2000; WHO/ISH, 2003; FSAI, 2005). The salt content of hams currently ranges from 8% to 15% (w/w, on a dry-matter basis). Although 15% of NaCl is the maximum level allowed by the quality system of The Serrano Ham (Official Journal EC C 371, 1.12.1998), as a Traditional Speciality Guaranteed (Council Regulation (EC) No. 509/2006), the reduction of NaCl content would meet the World Health Organization recommendation, i.e. a gradual reduction of dietary salt ingestion (WHO, 2007).

Salt, which is a multifunctional ingredient in dry-cured ham elaboration, affects both quality and safety. The NaCl reduction increases proteolytic activity during the traditional process of dry-cured ham (Arnau, Guerrero & Sárraga, 1998). Consequently, proteolysis increases the incidence of hams with excessive softness (Parolari, Virgili & Schivazappa, 1994; Virgili, Parolari, Schivazappa, Bordini & Borri, 1995) and pastiness (García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador & Luque de Castro, 2000) and affects the flavour of the final product (García, Berdagué, Antequera, López-Bote, Córdoba & Ventanas, 1991; Toldrá

& Flores, 1998; Ruiz, García, Muriel, Andrés & Ventanas, 2002). Moreover, NaCl reduction increases a_w and delays the time needed to obtain a microbiologically stable product. Therefore, the reduction of NaCl should be executed by applying strategies that solve these problems. Fulladosa, Serra, Gou & Arnau (2009) studied the effect of K-lactate addition to restructured dry-cured hams with reduced salt content and processed at temperatures below 5 °C until a 30% weight loss was reached. These authors studied the use of boned hams as a strategy to speed up the salt distribution and drying process. They also proposed to add K-lactate (36% molar substitution of NaCl) during salting, which could contribute to the microbiological stabilization during the first stages of the process. The bacteriostatic effect of K-lactate in meat and meat products has been previously demonstrated (Anderson & Marshall, 1989; Prasai, Acuff, Lucia, Morgan, May & Savell, 1992; Choi & Chin, 2003; Pipek, Houska, Jelenikova, Kyhos, Hoke & Sikulova, 2005). Fulladosa et al. (2009) concluded that the addition of K-lactate has no negative effects on the physicochemical and sensory characteristics of restructured dry-cured hams with reduced salt content.

The temperature increase from the resting stage to the drying/ageing stages causes an increase of protease activity

(Toldrá, Flores & Sanz, 1997; Martín, Antequera, Ventanas, Benítez-Donoso & Córdoba, 2001) which affects dry-cured ham softness (Morales, Serra, Guerrero & Gou, 2007) and pastiness (Arnau, Guerrero & Gou, 1997), especially if there is a high water content and a low salt content. A similar temperature effect could be expected in restructured dry-cured hams with a reduced salt content. Moreover, there is an increase in lipase activities (Andrés, Cava, Ventanas, Thovar & Ruiz, 2004; Andrés, Cava, Martín, Ventanas & Ruiz, 2005) and lipid oxidation (Antequera, López-Bote, García, Asensio, Ventanas, García-Regueiro & Díaz, 1992), which promote the generation of volatile and non-volatile compounds, responsible for the flavour attributes of dry-cured hams (García et al., 1991; López, Hoz, Cambero, Gallardo, Reglero & Ordóñez, 1992; Vestergaard & Parolari, 1999). The aim of this work is to study the effect of different post-resting temperatures (5 °C, 15 °C and 25 °C) and different drying levels on the physicochemical and the sensory parameters of restructured dry-cured hams with reduced NaCl content, with or without the addition of K-lactate as NaCl substitute. As stated above, the effect of temperature on protease activity is expected to be higher at higher water contents. Therefore, in order to highlight this effect, the restructured hams were kept vacuum-

packed in water-vapour impermeable bags for 1.5 months after resting.

2. Materials and methods

2.1. *Ham selection*

A total of 36 green hams (11 ± 2 kg) from 18 carcasses were selected according to the pH of *semimembranosus* (SM) muscle at 24 h post-mortem (pH_{SM24}) from a commercial slaughterhouse. The pH was measured with a pH penetration electrode (Crison 52-32) on a portable pH-meter (Crison pH 25, Crison Instruments SA, Alella - Spain). The pH_{SM24} values ranged from 5.8 to 6.0.

2.2. *Boning, salting and binding of hams*

The experimental design consisted of 18 different combinations of salting treatments (standard salting, SS; reduced salting, RS; and reduced salting with NaCl substitution with K-lactate, RSL) and process conditions (3 post-resting temperatures: 5 °C, 15 °C and 25 °C, and 2 drying levels: low and high). The experimental design with the distribution of ham pairs is shown in **Table 5.4.1**.

At 24 h post-mortem, hams were skinned, boned and the shank was removed. The muscle group comprising *semimembranosus*, *adductor* and *gracilis* was separated and divided into two longitudinal sections (coronal plane). The boneless ham pieces were salted in 3 different batches with NaCl alone or in

combination with K-lactate (Purasal® HiPure, purity 77.8%; Purac, Bioquímica, SA, Montmeló, Barcelona, Spain) according to the different salting treatments (SS, RS and RSL). The standard salting treatment (SS) was 30 g of NaCl per kg of green ham. Estimating a muscle water content of about 75%, the standard salting treatment (SS) corresponds to 10.7% of NaCl on a dry-matter basis (DM), which is close to the mean of the NaCl content range authorized by the quality system of Serrano ham (Official Journal EC C 371, 1.12.1998). The salt reduction level of the restructured dry-cured hams in the present study (RS and RSL) was 50% lower than that of the standard salting. Therefore, the reduced salting (RS) was 15 g of NaCl per kg in green ham; whereas the reduced salting with K-lactate (RSL) was 15 g of NaCl plus 19.7 g of K-lactate (which is equivalent to 30% molar substitution of the NaCl from the standard salting) per kg of green ham. In addition, all the salting treatments included 0.15 g potassium nitrate, 0.15 g sodium nitrite, 0.5 g sodium ascorbate and 1.0 g dextrose per kg of green ham. Salting was carried out in a tumbler (Tumbler LM-100, MIMASA®, Cornellà de Terri, Spain) at 14 rpm under vacuum (95%) for 1 hour. After massaging, the boneless ham pieces were covered with polyethylene film to avoid drying and were stored at 3 ± 2 °C for 2 days to absorb the curing mixture. Next,

the boneless ham pieces were treated with 2 g/kg transglutaminase enzyme (Activa WM, Ajimoto®, Impex Química, S.A., Barcelona, Spain), by using a tumbler under vacuum for 30 minutes. After transglutaminase enzyme addition, hams were reassembled and vacuum-packed inside water-vapour permeable plastic bags (Activa Ingredientes Funcionales, S.A., Banyoles, Spain) to facilitate the binding of muscles during the process.

2.3. Resting and drying processes

The resting period lasted 3.5 months at 3 ± 2 °C and at RH of $65\% \pm 5\%$. Each restructured ham rested in a horizontal position inside a perforated box. After the resting stage, the water-vapour permeable plastic bags were removed. The restructured ham weight losses were similar (SS: $24.70\% \pm 1.42\%$; RS: $26.90\% \pm 1.78\%$; and RSL: $26.11\% \pm 1.22\%$). Subsequently, the restructured hams were vacuum-packed in water-vapour impermeable plastic bags. Thereafter, four hams from each salting treatment were kept at each temperature, 5 °C, 15 °C and 25 °C (Table 5.4.1.) for 1.5 months. After this stage, hams were vacuum-packed again in water-vapour permeable plastic bags and kept drying at the assigned temperature and at RH of $65\% \pm 5\%$ until reaching the final target drying levels (low or high). The low drying level was selected to obtain a final water content of 57% (w/w) similar to

Table 5.4.1. Experimental design: distribution of the ham pairs (p1-p18) according to salting treatment, post-resting temperature and drying level.

SALTING TREATMENT	POST-RESTING TEMPERATURE					
	5 °C		15 °C		25 °C	
	DRYING LEVEL ^A		DRYING LEVEL		DRYING LEVEL	
	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH
Standard salting (SS) ^B	p1	p2	p5	p4	p7	p8
	p10	p11	p13	p14	p17	p16
Reduced salting (RS) ^C	p1	p3	p6	p4	p7	p16
	p10	p12	p13	p15	p9	p18
RS + K-lactate (RSL) ^D	p2	p3	p5	p6	p8	p17
	p11	p12	p14	p15	p9	p18

^A Drying level for the whole ham: Low, final target water content 57% (w/w); High, final target water content 50% (w/w).

^B SS: 30 g NaCl per kg of green ham.

^C RS: 15 g NaCl per kg of green ham.

^D RSL: 15 g NaCl and 19.7 g K-lactate (30% molar substitution of the NaCl from the SS) per kg of green ham.

the maximum accepted by the Serrano Ham quality system (Official Journal EC C 371, 1.12.1998). The high drying level corresponded to 50% water content (w/w). In order to reach these water contents, different target weight losses were calculated for each salting treatment according to their NaCl and K-lactate contents. The target weight loss for SS-low was 36.75%; for SS-high, 45.75%; for RS-low, 39.25%; for RS-high, 47.75%; for RSL-low, 36.25% and for RSL-high, 45.25%.

2.4. Restructured dry-cured ham sampling

The restructured dry-cured hams were sampled when their drying level reached the target weight loss calculated for each salting treatment. *Biceps femoris* (BF) muscles were dissected and divided into a proximal portion (2/3 of BF muscle) and a distal portion (1/3 of BF muscle). The distal portion was used for instrumental colour and physicochemical analyses. Samples for physicochemical analyses were vacuum-packed (PA/PP bags, Sacoliva® SL; Castellar del Vallès, Spain) and stored at -20 ± 2 °C. The

proximal portion was used for instrumental texture and sensory analyses. Samples for sensory analysis were vacuum-packed and stored at 3 ± 2 °C until they were evaluated (358 days after the salting process).

2.5. Physicochemical analyses

Water content was determined by drying samples at 103 ± 2 °C until reaching a constant weight (AOAC, 1990). Chloride content was measured with a potentiometric titrator (785 P Titrino, Metrohm Ltd.; Herisau, Switzerland) by using a standard silver nitrate titrant (0.1 M) following ISO 1841-2 (1996). Results were expressed as percentage of NaCl on a dry-matter basis (DM). L-lactate content in 2 grams of sample was determined through enzymatic analysis based on an UV-method for determination of L-lactic acid in foodstuffs (no. catalogue 10.139.084.035, R-Biopharm AG; Darmstadt, Germany) at 340 nm by using an UV spectrophotometer (UV-1603 spectrophotometer, Shimadzu Corporation; Kyoto, Japan). Results were expressed as potassium lactate (% w/w DM). Total nitrogen content (TN, % w/w) was measured by the Kjeldahl method (ISO 937, 1978). Non-protein nitrogen content (NPN, % w/w) was measured by precipitation of proteins with trichloroacetic acid (Gáspár, 1984) followed by determination of the

nitrogen in the extract by the Kjeldahl method. A proteolysis index (PI, %) was calculated as the ratio between NPN and TN (Careri, Mangia, Barbieri, Bolzoni, Virgili & Parolari, 1993). Water activity was measured at 25 ± 0.3 °C with a Novasina AW SPRINT-TH 500 Instrument (Axair Ltd., Pfäffikon, Switzerland).

2.6. Instrumental colour and texture measurements

Instrumental colour was measured in the CIE-LAB space (CIE, 1976): L^* (lightness), a^* (redness) and b^* (yellowness). A colorimeter Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta Inc., Osaka, Japan) was used to measure colour by triplicate on the BF muscle immediately after cutting (standard observer 2°, illuminant D65).

The Stress Relaxation test was performed by using a Universal Texture Analyser TA.TX2 (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England) with a 25 kg load cell and a 50 mm diameter compression plate. Five specimens from each BF muscle were accurately carved with a scalpel into parallelepipeds of 20 mm × 20 mm × 15 mm (length × width × height) and wrapped in plastic film to avoid drying and stored at 4 ± 1 °C for 24 hours. The specimens were compressed 25% of their original height, perpendicular to the fibre bundle direction and at a crosshead speed of 1 mm/s. The force versus time after compression was recorded at speed

of 50 points per second during 90 s (relaxation time). The relaxation curve obtained for each specimen was normalized; i.e. the force decays $Y(t)$ were calculated by using the equation [5.4.1.]:

$$Y(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0} \quad [5.4.1.]$$

where F_0 (kg) is the initial force and $F(t)$ is the force recorded after t seconds of relaxation. The force decay at 2 s (Y_2) and 90 s (Y_{90}) were calculated (Morales, Guerrero, Serra & Gou, 2007). The average of the five specimens per sample was used for statistical analysis.

2.7. Sensory analysis

The sensory analysis was carried out on 2 mm thick slices of BF muscle from restructured dry-cured hams at the end of the process. The restructured dry-cured hams dried at 25 °C were not evaluated because they spoiled during the process, and were not acceptable from a sensory point of view (independently of the salting treatment). Consequently, a total of 24 hams were assessed in 3 sessions by 6 members of a panel, trained following the American Society for Testing and Materials standards (ASTM, 1981). Eight randomly selected restructured dry-cured hams: one from each combination of drying levels with post-resting temperatures (i.e. Low-5 °C; Low-15 °C; High-5 °C and High-15 °C) and with two different salting

treatments (SS and RS in session 1, SS and RSL in session 2, RS and RSL in session 3), were assessed in each session.

Visual appearance (colour homogeneity and redness intensity) and flavour (metallic, sweetness, saltiness and piquantness) attributes as described by Sánchez-Molinero and Arnau (2008), and texture attributes (adhesiveness, hardness, crumbliness, pastiness and fibrousness; Fulladosa et al., 2009) were scored using an unstructured scale from 0 (very low) to 10 (very high). The average scores of the panel for each sample were used for statistical analysis.

2.8. Statistical analysis

A variance analysis was performed using the General Linear Model (GLM) procedure of the SAS statistical package (SAS Institute, 2003). The linear model included salting treatment, post-resting temperature, drying level and their double interactions as fixed effects. The interactions which were not statistically significant ($P > 0.05$) were dropped from the models. Differences among least squares means within each effect were tested with the Tukey range test ($P < 0.05$).

3. Results and discussion

3.1. Physicochemical characteristics of the restructured dry-cured hams

The effects of salting treatment, resting temperature and drying level on

physicochemical parameters are shown in **Table 5.4.2**. The interaction post-resting temperature by drying level for the variables overall processing time, non-protein nitrogen content and proteolysis index (**Table 5.4.3**.) and the interaction salting treatment by drying level for the variable NaCl content (**Table 5.4.4**.) were significant ($P < 0.05$).

The overall processing time, as expected, was affected by the drying level and post-resting temperature. Longer time was needed to achieve the high drying level. The dependence of water diffusivity on temperature, described by the Arrhenius equation, has been stated in most food products (Okos, Narsimhan, Singh & Weitnauer, 1992). Gou, Comaposada and Arnau (2004), also found the effect of temperature on water diffusivity in the lean tissue of dry-cured ham at different process times. In concordance with these results, temperature accelerated the drying process (**Table 5.4.2**.) Differences in processing time due to temperature were higher for the high drying level than for the low drying level (**Table 5.4.3**.) At the high drying level the overall processing time was significantly higher at 5 °C than at 15 °C or 25 °C.

The BF water content was only significantly affected by the drying level (**Table 5.4.2**.) As expected, the restructured dry-cured hams from the high drying level showed a significantly

lower BF water content than those from the low drying level ($P < 0.05$). However, BF water content was higher than expected for both drying levels according to the planned final target water contents (i.e. low: 57% and high: 50%). This could be explained by the fact that the BF is an internal muscle and, consequently, it dries more slowly. The average BF water contents for both low and high drying levels were higher than the maximum water content authorized by the quality system of Serrano Ham (i.e., 57%, w/w).

The salting treatment and the drying level significantly affected the NaCl content of BF muscle. The salt content of BF muscles from standard salting (SS) restructured dry-cured hams was higher (14.10%) than the theoretical salt content designed for the whole ham (10.7%). This would be due to the fact that the BF had higher water content than the rest of the ham and salt has a tendency to homogenize the relationship NaCl/water (Arnau, Guerrero, Casademont & Gou, 1995). The NaCl content of standard salting restructured dry-cured hams was almost double than that of hams from reduced salting (RS) and reduced salting with K-lactate substitution (RSL). The RSL restructured dry-cured hams had a slightly lower salt content than the RS ones, which could be explained, in part, by the K-lactate addition effect on the dry-matter basis.

Table 5.4.2. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the overall processing time and on the physicochemical parameters of the *biceps femoris* muscle of restructured dry-cured hams (least squares means).

<i>(n</i> = 36)	SALTING TREATMENT ^A			POST-RESTING TEMPERATURE			DRYING LEVEL ^B		RMSE ^C
	SS	RS	RSL	5 °C	15 °C	25 °C	LOW	HIGH	
Overall processing time (d)	228	237	222	249 ^a	226 ^b	212 ^b	204 ^b	254 ^a	17.2
Water (%)	60.64	61.89	61.11	61.35	61.97	60.31	63.92 ^a	58.51 ^b	1.992
NaCl (DM ^D %)	14.10 ^a	8.36 ^b	7.31 ^c	9.85	10.12	9.81	9.49 ^b	10.36 ^a	0.959
K-lactate (DM %) ^E	ND ^E	ND	4.57	5.60 ^a	4.85 ^a	3.25 ^b	4.54	4.59	0.967
Non-protein nitrogen (%)	1.32 ^b	1.54 ^a	1.33 ^b	1.11 ^b	1.29 ^b	1.78 ^a	1.26 ^b	1.53 ^a	0.227
Proteolysis index (%)	26.63 ^b	30.56 ^a	26.89 ^b	23.12 ^b	25.77 ^b	35.19 ^a	26.57 ^b	29.48 ^a	4.484
a_w	0.915 ^c	0.932 ^a	0.923 ^b	0.928 ^a	0.928 ^a	0.913 ^b	0.937 ^a	0.909 ^b	0.0082
pH _{BF}	5.67 ^b	5.99 ^a	6.07 ^a	5.94	5.82	6.01	5.89	5.96	0.193

^{abc}Within factor and row, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^A **SS**, standard salting (30 g NaCl per kg of green ham); **RS**, reduced salting (15 g NaCl per kg of green ham); **RSL**, reduced salting with K-lactate (15 g NaCl and 19.7 g K-lactate, equivalent to 30% molar substitution of the NaCl from the SS, per kg of green ham).

^B Drying level for the whole ham: Low, final target water content 57% (w/w); High, final target water content 50% (w/w).

^C Root mean square error of the linear model.

^D Dry-matter basis.

^E **ND**: not determined, K-lactate was only determined in RSL restructured dry-cured hams ($n = 12$).

Table 5.4.3. Overall processing time and non-protein nitrogen content and proteolysis index of the *biceps femoris* muscle of restructured dry-cured hams (least squares means) according to the interaction post-resting temperature by drying level.

(n = 36)	DRYING LEVEL ^A	POST-RESTING TEMPERATURE		
		5 °C	15 °C	25 °C
Overall processing time (d) RMSE ^B = 17.2	Low	213 ^y	212	187 ^y
	High	286 ^{ax}	241 ^b	237 ^{bx}
Non-protein nitrogen (%) RMSE = 0.187	Low	1.11 ^b	1.19 ^b	1.46 ^{ay}
	High	1.12 ^c	1.39 ^b	2.08 ^{ax}
Proteolysis index (%) RMSE = 3.983	Low	23.76 ^b	24.90 ^b	30.47 ^{ay}
	High	22.47 ^b	26.65 ^b	39.32 ^{ax}

^{abc}Within row, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^{xy}Within column, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^A Drying level for the whole ham: Low, final target water content 57% (w/w); High, final target water content 50% (w/w).

^B Root mean square error of the linear model.

Table 5.4.4. NaCl content (% on a dry-matter basis) of the *biceps femoris* muscle of restructured dry-cured hams (least squares means) according to the interaction salting treatment by drying level (root mean square error of the linear model = 0.891)

DRYING LEVEL ^A	SALTING TREATMENT		
	STANDARD SALTING (SS) ^B	REDUCED SALTING (RS) ^C	REDUCED SALTING + K-LACTATE (RSL) ^D
Low	13.20 ^{ay}	7.93 ^b	7.24 ^c
High	15.01 ^{ax}	8.79 ^b	7.28 ^c

^{abc}Within row, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^{xy}Within column, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^A Drying level for the whole ham: Low, final target water content 57% (w/w); High, final target water content 50% (w/w).

^B SS: 30 g NaCl per kg of green ham.

^C RS: 15 g NaCl per kg of green ham.

^D RSL: 15 g NaCl and 19.7 g K-lactate (equivalent to 30% molar substitution of the NaCl from the SS) per kg of green ham.

No significant effect of temperature on the salt content of BF muscle was detected ($P > 0.05$). The BF of restructured dry-cured hams of the high drying level had higher salt content on a dry-matter basis than that of the low drying level. This could be explained by the fact that the restructured dry-cured hams of the high drying level had a longer processing time and, consequently, allowed more time for the salt to reach the inner parts with high water content. However, the effect of drying level on salt content was only significant in SS hams (Table 4). Nevertheless, these salt contents were lower than the maximum NaCl content (15% w/w) authorized by the quality system of the Serrano Ham (Official Journal EC C 371, 1.12.1998).

K-lactate content was only determined in RSL hams. The K-lactate content in BF was lower than the theoretical K-lactate content for the whole ham (4.75% vs. 7.68%). This could be explained by the fact that, during the drying process, the microbiota, including some lactic acid bacteria, can use lactate as substrate, under anaerobic conditions (Ringø, Stenberg & Strøm, 1984; Rodríguez, Núñez, Córdoba, Bermúdez & Asensio, 1998; Martín, Córdoba, Rodríguez, Núñez & Asensio, 2001; Oude Elferink, Krooneman, Gottschal, Spoelstra, Faber & Driekhuis, 2001; Liu,

2003; Blesa, Aliño, Barat, Grau, Toldrà & Pagán, 2008).

The restructured dry-cured hams dried at 25 °C had a significantly lower K-lactate content than those kept at lower temperatures (i.e. 5 °C and 15 °C). The microbial growth as well as the rate of biochemical reactions would be higher in restructured dry-cured hams kept at 25 °C than in those dried at lower temperatures.

The non-protein nitrogen (NPN) content and the proteolysis index (PI) values were significantly higher in RS than in SS restructured dry-cured hams. A similar effect of salt reduction on proteolysis has been previously reported by Toldrà and Flores (1998), and Flores, Barat, Aristoy, Peris, Grau and Toldrà (2006). It concurs with Sárraga, Gil, Arnau, Monfort and Cussó (1989), who found that NaCl reduces the activity of some proteolytic enzymes "in vitro". Moreover, the addition of K-lactate (RSL) reduced the NPN and PI values determined by RS restructured dry-cured hams to values of the same order as those showed by SS ones. This could be explained by the decrease in a_w and a pH increase due to K-lactate.

With regard to the effects of post-resting temperature and drying level, the higher temperature (25 °C) and the longer process time (high drying level) increased the NPN content and PI significantly ($P < 0.05$) (Table 5.4.2.).

The effect of temperature on proteolysis has also been previously reported by Martín, Córdoba, Antequera, Timón, and Ventanas (1998) and Rodríguez-Núñez, Aristoy, and Toldrá (1995). Furthermore, the effect of drying level on proteolysis index was only significant in restructured dry-cured hams processed at 25 °C (Table 5.4.3.). Therefore, longer drying processes could be applied without a significant increase in PI only if the post-resting temperature is kept at or below 15 °C. However, we have to bear in mind that the restructured dry-cured ham process has been modified in this study in order to highlight the temperature effect (to simulate a more adverse situation). Therefore, results at 25 °C could be improved if restructured hams were not kept vacuum-packed in impermeable water-vapour bags for 1.5 months after resting.

The water activity in BF muscle was significantly affected by the salting treatment, the post-resting temperature and the drying level. The a_w value of SS restructured dry-cured hams was the lowest, followed by the RSL value and, finally, the RS value. Therefore, the addition of both NaCl and K-lactate reduced a_w values. Similar effects of NaCl and K-lactate on a_w have been found in salted ground meat by Comaposada, Gou and Arnau (2000) and Muñoz, Arnau, Costa-Corredor and Gou (2009), respectively. Despite the lower K-lactate

content, a_w was significantly lower in restructured dry-cured hams dried at 25 °C than in those dried at lower temperatures. This could be explained by their significantly higher NPN content, and also by their lower water content, although the latter was not statistically significant ($P > 0.05$). Finally, the differences in a_w between the two drying levels were mainly due to their different water contents.

3.2. Instrumental colour and visual attributes

The addition of K-lactate decreased the lightness (L^*) significantly in RSL restructured dry-cured hams (Table 5.4.5.), which could be perceived as darker by consumers. However, the darkness intensity was not evaluated by the panel. The reduction of NaCl (with and without K-lactate) did not significantly affect redness (a^*) or yellowness (b^*). Similarly, the salting treatment did not affect either the sensory perception of colour attributes: colour homogeneity and redness intensity. The post-resting temperature showed a significant effect on the instrumental colour measurements. L^* , a^* and b^* were significantly higher in hams dried at 25 °C than those dried at lower temperature (5 °C and 15 °C). Drying at 25 °C would cause differences in the microbiota and increase lipolysis, proteolysis and lipid oxidation (Ventanas,

Table 5.4.5. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the instrumental colour parameters and visual attributes of the *biceps femoris* muscle of restructured dry-cured hams (least squares means).

PARAMETERS/ ATTRIBUTES	SALTING TREATMENT ^A			POST-RESTING TEMPERATURE			DRYING LEVEL ^B		RMSE ^C
	SS	RS	RSL	5 °C	15 °C	25 °C	LOW	HIGH	
Instrumental colour									
<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	18	18	
L*	41.48 ^a	42.46 ^a	39.60 ^b	39.63 ^b	41.52 ^{ab}	42.40 ^a	41.94	40.42	2.754
a*	11.88	12.54	12.99	12.03 ^b	10.99 ^b	14.39 ^a	12.52	12.43	1.887
b*	4.17	4.91	4.53	3.50 ^b	3.86 ^b	6.24 ^a	4.25	4.82	1.330
Visual attributes									
<i>n</i>	8	8	8	12	12	-	12	12	
Colour homogeneity	6.12	6.50	7.31	6.96	6.33	ND ^D	6.46	6.83	1.370
Redness intensity	6.44	6.31	6.10	6.63	5.94	ND	5.81	6.75	1.061

^{abc}Within factor and row, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^A SS, standard salting (30 g NaCl per kg of green ham); RS, reduced salting (15 g NaCl per kg of green ham); RSL, reduced salting with K-lactate (15 g NaCl and 19.7 g K-lactate, equivalent to 30% molar substitution of the NaCl from the SS, per kg of green ham).

^B Drying level for the whole ham: Low, final target water content 57% (w/w); High, final target water content 50% (w/w).

^C Root mean square error of the linear model.

^D ND: not determined.

Córdoba, Antequera, García, López-Bote & Asensio, 1992; Andrés, Cava, Ventanas, Muriel & Ruiz, 2005). Sanabria, Martín-Álvarez and Carrascosa (2004) found a high correlation coefficient ($r = 0.80$, $P < 0.01$) between colour lightness (L^*) and water content. They attributed the overall drop in L^* to dehydration of the dry-cured ham during the process, as a loss of water content raises the concentration of pigments such as nitrosyl-myoglobin. This directly causes a reduction in the parameter L^* . In our case, although not statistically significant, the hams which were dried at the higher level also tended to show the lowest L^* values ($P = 0.1069$).

3.3. Instrumental and sensory texture

The Stress Relaxation test parameters and the sensory texture attributes of BF muscles of restructured dry-cured hams according to the salting treatment, post-resting temperature and drying level are shown in **Table 5.4.6**. In order to better understand the Stress Relaxation test parameters it can be assumed that low F_0 and high force decay at 2 s (Y_2) and at 90 s (Y_{90}) indicate a low hardness (Morales et al, 2007a). The lower F_0 and higher Y_2 and Y_{90} values of RS hams compared with those of SS hams indicated that RS hams were softer, which could be explained by their significantly higher PI value (Table 2). Hams with K-lactate addition showed

intermediate instrumental texture values. From a sensory point of view, Andrés et al. (2004) found that BF muscles from hams with a higher salt content (6% w/w on a wet-matter basis) were harder and more fibrous than those from hams with a lower salt content (3% w/w on a wet-matter basis), and related this to the higher protein hydrolysis of the reduced salt content hams. However, our sensory data did not show significant differences in texture attributes among salting treatments, with the exception of a slight increase in adhesiveness ($P < 0.05$) in restructured dry-cured hams with salt reduction (RS and RSL). Adhesiveness has been previously related to raw meat pH. Guerrero, Gou and Arnau (1999) found higher adhesiveness in hams with a raw meat pH above 6.0 than in hams with a lower pH. This could be explained by the fact that at a higher pH there is a lower proteolytic activity (Rodríguez-Nuñez et al., 1995) and therefore, proteins are less degraded, which would increase adhesiveness. In our study, raw hams were selected for a raw meat pH measured on the SM muscle ranging from 5.8 to 6.0. However, the pH of the final product of both SM and BF muscles was higher in RS and RSL than in SS hams (**Table 5.4.2**). For this reason, the higher adhesiveness in RSL and RS hams could be related to their higher pH. Nevertheless, the correlation between adhesiveness and pH depends also on the

drying level because it was only significant in hams dried at low level (Pearson's correlation coefficient, $r = +0.87$), but not in those dried at high level as shown in **Figure 5.4.1**.

The post-resting temperature significantly affected only Y_{90} (**Table 5.4.6**). Although hams dried at 25 °C showed a higher proteolysis, the Stress Relaxation test parameters did not show a significantly softer texture. This could be explained by the positive effect of temperature on hardness: dry-cured ham samples aged at 30 °C for 30 days were harder than those aged at 5 °C (Morales et al., 2007b).

Water content normally explains the main instrumental texture differences in

dry-cured meat products (Ruiz Ramirez, Arnau, Serra & Gou, 2006). In this sense, harder samples (high F_0 and low Y_2 and Y_{90}) were expected in BF muscles with lower water content, i.e. in the high drying level treatment. As expected, the restructured dry-cured hams from the high drying level showed higher F_0 values and higher sensory hardness than those from the low drying level (**Table 5.4.6**). However, they did not show significantly lower Y_2 and Y_{90} values. The higher PI of high drying level hams, which has been related with softness (Virgili et al., 1995; Arnau et al., 1997; Ruiz Ramírez et al., 2006), probably partially masked the expected effect of water content on Y_2 and Y_{90} values.

Figure 5.4.1. Relationship between adhesiveness intensity and the final pH of the *biceps femoris* muscle of restructured dry-cured hams according to the drying level.

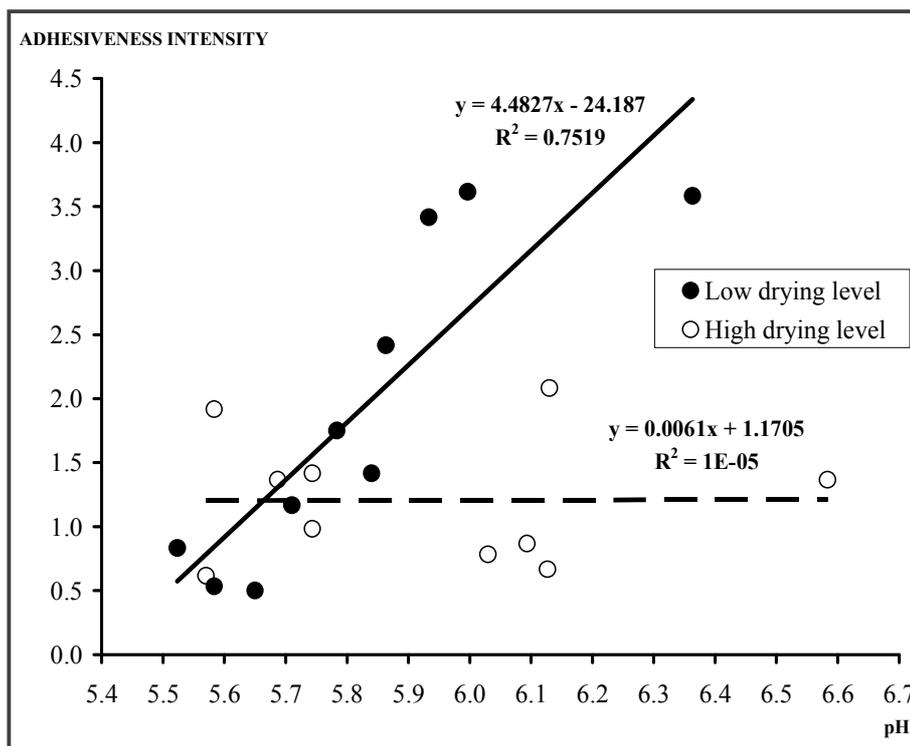


Table 5.4.6. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the instrumental texture parameters (Stress Relaxation test) and the sensory texture attributes of *biceps femoris* muscle of restructured dry-cured hams (least squares means).

PARAMETERS/ ATTRIBUTES	SALTING TREATMENT ^A			POST-RESTING TEMPERATURE			DRYING LEVEL ^B		RMSE ^C
	SS	RS	RSL	5 °C	15 °C	25 °C	LOW	HIGH	
Stress Relaxation test									
<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	18	18	
F ₀ (kg)	2.000 ^a	1.295 ^b	1.393 ^b	1.723	1.356	1.610	0.822 ^b	2.303 ^a	0.6625
Y ₂	0.312 ^b	0.349 ^a	0.324 ^{ab}	0.324	0.339	0.322	0.332	0.325	0.0327
Y ₉₀	0.643 ^b	0.684 ^a	0.658 ^{ab}	0.666 ^a	0.686 ^a	0.632 ^b	0.666	0.657	0.0364
Sensory texture attributes									
<i>n</i>	8	8	8	12	12	-	12	12	
Hardness	4.08	4.06	3.83	4.19	3.78	ND ^D	3.56 ^b	4.42 ^a	0.640
Pastiness	0.43	0.68	0.70	0.48	0.73	ND	0.79	0.42	0.487
Adhesiveness	1.01 ^b	1.53 ^{ab}	2.13 ^a	1.65	1.46	ND	2.49 ^a	0.63 ^b	0.585
Crumbliness	4.39	3.96	3.99	3.95	4.27	ND	3.49	4.74	0.791
Fibrousness	2.99	3.04	3.17	3.27	2.86	ND	3.31	2.82	0.621

^{ab}Within factor and row, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^A SS, standard salting (30 g NaCl per kg of green ham); RS, reduced salting (15 g NaCl per kg of green ham); RSL, reduced salting with K-lactate (15 g NaCl and 19.7 g K-lactate, equivalent to 30% molar substitution of the NaCl from the SS, per kg of green ham).

^B Drying level for the whole ham, Low: final target water content 57% (w/w); High: final target water content 50% (w/w).

^C Root mean square error of the linear model.

^D ND: not determined.

3.4. Flavour attributes

The saltiness scores obtained for SS, RS and RSL, ranging from 2.06 to 3.48, were similar to those reported in different studies in dry-cured hams (Sánchez-Molinero & Arnau, 2008; Fulladosa et al., 2009). Concerning metallic, piquantness and sweetness scores were generally low, indicating that they were not dominant flavours in our study. The restructured dry-cured hams with standard NaCl content (SS) were significantly saltier, more piquant and less sweet than RS and RSL ones (Table 5.4.7.), which agrees with the effect of a 50% molar substitution of salt by K-lactate in small calibre fermented sausages (Guàrdia, Guerrero, Gelabert, Gou & Arnau, 2008). NaCl is not the only factor which determines saltiness. For example, Careri et al. (1993) stated that some compounds generated by proteolysis (e.g. amino acids, such as glutamic acid) increase the salty taste of dry-cured hams. However, in our study, the differences observed in proteolysis between RS and RSL hams did not produce any significant differences in salty taste. Sweetness was lower in SS hams because of the higher salt content. However, sweetness was not affected ($P > 0.05$) although saltiness increased with drying level.

A higher metallic flavour intensity was found in hams kept at low temperature (5 °C), as well as in hams subjected to a

shorter drying process (low drying level). This could be due to the fact that they had less proteolysis and lipolysis, which are responsible for forming flavour compounds (Muriel, Antequera, Petró, Andrés & Ruiz, 2004) that would mask the metallic flavour of raw meat.

4. Conclusions

The main effects of reducing the NaCl addition from 30 g/kg to 15 g/kg in restructured dry-cured hams were the reduction of saltiness and the increase of a_w , proteolysis and softness. The addition of K-lactate (19.7 g/kg) contributed to reduce these effects. Although hams from high drying level had longer processing time and higher proteolysis index, they also showed lower water content and higher salt content, resulting in a harder texture. The increase of post-resting temperature above 5 °C reduced the processing time and the metallic flavour, but at 25 °C restructured hams were spoiled. Therefore, the problems due to the reduction of NaCl in restructured dry-cured hams can be reduced by adding K-lactate and drying at 15 °C (after 3.5 months of resting at 5 °C) until a final weight loss of around 45% is reached.

Acknowledgements

The FI-AGAUR scholarship from the Generalitat de Catalunya to finance Anna

Table 5.4.7. Effects of salting treatment, post-resting temperature and drying level on the flavour attributes of *biceps femoris* muscles of restructured dry-cured hams (least squares means).

ATTRIBUTES	SALTING TREATMENT ^A			POST-RESTING TEMPERATURE			DRYING LEVEL ^B		RMSE ^C
	SS	RS	RSL	5 °C	15 °C	25 °C	LOW	HIGH	
<i>n</i>	8	8	8	12	12	-	12	12	
Metallic	2.01	1.61	1.99	2.08 ^a	1.66 ^b	ND ^D	2.16 ^a	1.58 ^b	0.404
Sweetness	0.89 ^b	1.36 ^a	1.23 ^a	1.23	1.10	ND	1.17	1.16	0.343
Saltiness	3.48 ^a	2.06 ^b	2.07 ^b	2.52	2.55	ND	2.24 ^b	2.83 ^a	0.402
Piquantness	0.92 ^a	0.53 ^b	0.59 ^b	0.64	0.72	ND	0.52 ^b	0.86 ^a	0.287

^{ab}Within factor and row, means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$).

^A SS, standard salting (30 g NaCl per kg of green ham); RS, reduced salting (15 g NaCl per kg of green ham); RSL, reduced salting with K-lactate (15 g NaCl and 19.7 g K-lactate, equivalent to 30% molar substitution of the NaCl from the SS, per kg of green ham).

^B Drying level for the whole ham: Low, final target water content 57% (w/w); High, final target water content 50% (w/w).

^C Root mean square error of the linear model.

^D ND: not determined.

Costa Corredor's doctorate studies at the University of Girona is acknowledged. This work was supported by the TRUEFOOD European Commission Integrated Project within the Sixth RTD Framework Programme (Contract no. FOOD-CT-2006-016264). The information in this document reflects only the authors' views and the Community is not liable for any use that may be made of the information contained therein.

References

- AESAN, Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (2005). Estrategia NAOS. Estrategia para la Nutrición, Actividad Física y Prevención de la obesidad. Ministerio de Sanidad y Consumo. (Available on 08/01/09 at URL: <http://www.naos.aesan.msc.es/naos/ficheros/investigacion/publicacion1es/strategianaos.pdf>).
- Anderson, M. E., & Marshall, R. T. (1989). Reducing microbial population on beef tissues: concentration and temperature of lactic acid. *Journal of Food Safety*, 10(3), 181-190.
- Andrés, A. I., Cava, R., Martín, D., Ventanas, J., & Ruiz, J. (2005). Lipolysis in dry-cured ham: influence of salt content and processing conditions. *Food Chemistry*, 90, 523-533.
- Andrés, A. I., Cava, R., Ventanas, J., Muriel, E., & Ruiz, J. (2004). Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salt contents and processing conditions. *Food Chemistry*, 84, 375-381.
- 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.
- Antequera, T., López-Bote, C. J., Córdoba, J. J., García, C., Asensio, M. A., Ventanas, J., García-Regueiro, J. A., & Díaz, I. (1992). Lipid oxidative changes in the processing of Iberian pig hams. *Food Chemistry*, 45, 105-110.
- AOAC. (1990). Official method 950.46, Moisture in meat, B. Air drying. In: K. Helrich, *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (15th ed., Vol. II, pp. 931). Arlington: Association of Official Analytical Chemists Inc..
- 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 sensory characteristics of dry-cured ham. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 77, 387-392.
- 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.
- ASTM, American Society for Testing and Materials (1981). Guidelines for the Selection and Training of Sensory Panel Members. *ASTM Special Technical Publication 758*, (pp. 33), Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Blesa, E., Aliño, M., Barat, J.M., Grau, R., Toldrá, F., & Pagán, M.J. (2008). Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts. *Meat Science*, 78, 135-142.
- 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(5), 968-972.
- Choi, S. H., & Chin, K. B. (2003). Evaluation of sodium lactate as a replacement for conventional chemical preservatives in comminuted sausages inoculated with *Listeria monocytogenes*. *Meat Science*, 65(1), 531-537.
- Comaposada, J., Gou, P., & Arnau, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55, 291-295.
- Council Regulation (EC) No. 509/2006 of 20 March 2006 on agricultural products and foodstuffs as traditional specialities guaranteed. *Official Journal of the European Union*, 31.3.2006, L 93/1-11.
- Flores, M., Barat, J. M., Aristoy, M. C., Peris, M. M., Grau, R., & Toldrá, F. (2006). Accelerated processing of dry cured ham. Part 2: Influence of brine thawing/ salting operation on proteolysis and sensory acceptability. *Meat Science*, 72, 766-772.
- FSAI, Food Safety Authority of Ireland. (2005). Salt and Health: Review of the Scientific Evidence and Recommendations for Public Policy in Ireland. Dublin: Food Safety Authority of Ireland. (Available on 08/01/09 at URL: http://www.fsai.ie/publications/reports/salt_report.pdf).
- FSAI, Food Safety Authority of Ireland. (2008). Salt Reduction Undertakings by the Food Industry - Update period August 2007-August 2008 (pp. 5-8). (Available on 30/06/09 at URL: [http://www.fsai.ie/uploadedFiles/Science_and_Health/Salt_Reduction_Undertakings_07_08\[1\]\(2\).pdf](http://www.fsai.ie/uploadedFiles/Science_and_Health/Salt_Reduction_Undertakings_07_08[1](2).pdf)).
- Fulladosa, E., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J. (2009). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science*, 82(2), 213-218.
- García, C., Berdagué, J. L., Antequera, T., Lopez-Bote, C., Córdoba, J. J., & Ventanas, J. (1991). Volatile components of dry-cured ham. *Food Chemistry*, 41, 23-32.
- García-Garrido, J. A., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J., & Luque de Castro, M. D. (2000). Activity of cathepsin B, D, H & L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Science*, 56, 1-6.
- Gáspár, L. (1984). General laboratory methods. In I. Kerese, I. (ed.), *Methods of protein analysis* (pp. 30-86). Chichester: Ellis Horwood Ltd.
- Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2004). Moisture diffusivity in the lean tissue of dry-cured ham at different process time. *Meat Science*, 67, 2003-209.
- Guàrdia, M. D., Guerrero, L., Gelabert, J., Gou, P., & Arnau, J. (2008). Sensory characterisation and consumer acceptability of small calibre fermented sausages with 50% substitution of NaCl by mixtures of KCl and potassium lactate. *Meat Science*, 80, 1225-1230.
- 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 1841-2 (1996). Meat and meat products. Determination of chloride content - Part 2: *Potentiometric method (Reference method)*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 937 (1978). Meat and meat products. *Determination of nitrogen content (Reference method)*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Kaplan, N. M. (2000). The dietary guideline for sodium: should we shake it up? No. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 1020-1026.
- Liu, S. Q. (2003). Practical implications of lactate and pyruvate metabolism by lactic acid bacteria in food and beverages fermentation. *International*

- Journal of Food Microbiology*, 83, 115-131.
- López, M. O., de la Hoz, L., Cambero, M. I., Gallardo, E., Reglero, G., & Ordoñez, J. A. (1992). Volatile compounds of dry hams from Iberian pigs. *Meat Science*, 31, 267-277.
- Martín, A., Córdoba, J. J., Rodríguez, M. M., Núñez, F., & Asensio, M. A. (2001). Evaluation of microbial proteolysis in meat products by capillary electrophoresis. *Journal of Applied Microbiology*, 90, 163-171
- Martín, L., Antequera, T., Ventanas, J., Benítez-Donoso, R., & Córdoba, J. J. (2001). Free amino acids and other non-volatile compounds formed during processing of Iberian ham. *Meat Science*, 59(4), 363-368.
- Martín, L., Córdoba, J. J., Antequera, T., Timón, M. L., & Ventanas, J. (1998). Effect of salt and temperature on proteolysis during ripening of Iberian ham. *Meat Science*, 49(2), 145-153.
- Morales, R., Arnau, J., Serra, X., Guerrero, L., & Gou, P. (2008). Texture changes in dry-cured ham pieces by mild thermal treatments at the end of the drying process. *Meat Science*, 80, 231-238.
- Morales, R., Guerrero, L., Serra, X., & Gou, P. (2007a). Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. *Meat Science*, 76, 536-542.
- Morales, R., Serra, X., Guerrero, L., & Gou, P. (2007b). Softness in dry-cured porcine *Biceps femoris* muscles in relation to meat quality characteristics and processing conditions. *Meat Science*, 77, 662-669.
- Muñoz, I., Arnau, J., Costa-Corredor, A., & Gou, P. (2009). Desorption isotherms of salted minced pork using K-lactate as substitute for NaCl. *Meat Science*, 83(4), 642-646.
- Muriel, E., Antequera, T., Petró, M. J., Andrés, A. I., & Ruiz, J. (2004). Volatile compounds in Iberian dry-cured loin. *Meat Science*, 68(3), 391-400.
- Official Journal of the European Communities (C 371, 1.12.1998). Publication of an application for registration pursuant to the second subparagraph of Article 8(1) of Regulation (EEC) No 2082/92 on certificates of specific character.
- Okos, M. R., Narsimhan, G., Singh, R. K., & Weitnauer, A. C. (1992). In D. R. Heldman & D. B. Lund (Eds.), *Handbook of food engineering* (p. 440). New York: Mercel Dekker.
- Oude Elferink, S. J., Krooneman, J., Gottschal, J. C., Spoelstra, S. F., Faber, F., & Driekhuis, F. (2001). Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(1), 125-132.
- Parolari, G., Virgili, R., & Schivazappa, C. (1994). Relationship between cathepsin B activity and compositional parameters in dry-cured hams of normal and defective texture. *Meat Science*, 38(1), 117-122.
- Pipek, P., Houska, M., Jelenikova, J., Kyhos, K., Hoke, K., & Sikulova, M. (2005). Microbial decontamination of beef carcasses by combination of steaming and lactic acid spray. *Journal of Food Engineering*, 67(3), 309-315.
- Prasai, R. K., Acuff, G. R., Lucia, L. M., Morgan, J. B., May, S. G., & Savell, J. W. (1992). Microbial effects of acid decontamination of pork carcasses at various locations in processing. *Meat Science*, 32(4), 413-423.
- Ringø, E., Stenberg, E., & Strøm, A. R. (1984). Amino acid and lactate catabolism in trimethylamine oxide respiration of *Alteromonas putrefasciens* NCMB 1735. *Applied and Environmental Microbiology*, 47(5), 1084-1089.
- Rodríguez, M., Núñez, F., Córdoba, J. J., Bermúdez, M. E., & Asensio, M. A. (1998). Evaluation of proteolytic

- activity of micro-organisms isolated from dry cured ham. *Journal of Applied Microbiology*, 85, 905-912.
- Rodríguez-Núñez, E., Aristoy, M. C., & Toldrá, F. (1995). Peptide generation in the processing of dry-cured ham. *Food Chemistry*, 53, 187-190.
- Ruiz, J., García, C., Muriel, E., Andrés, A. I., & Ventanas, J. (2002). Influence of sensory characteristics on the acceptability of dry-cured ham. *Meat Science*, 61, 347-354.
- Ruiz Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2006). 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. *Meat Science*, 72, 185-194.
- Sanabria, C., Martín-Álvarez, P. J., & Carrascosa, A. V. (2004). Colour and moisture changes during the manufacture of Iberian dry-cured ham caused by some biotic and abiotic factors. *Food Science Technology International*, 10(4), 269-275.
- SANC, Scientific Advisory Committee on Nutrition (2003). Salt and health. (Available on 08/01/09 at URL: http://www.sacn.gov.uk/pdfs/sacn_salt_final.pdf).
- Sánchez-Molinero, F., & Arnau, J. (2008). Effect of the inoculation of a starter culture and vacuum packaging during the resting stage on sensory traits of dry-cured ham. *Meat Science*, 80, 1074-1080.
- Sárraga, C., Gil, M., Arnau, J., Monfort, J. M., & Cussó, R. (1989). Effect of curing salt and phosphate on the activity of porcine muscle proteases. *Meat Science*, 25, 241-249.
- SAS Institute (2003). *Statistical analysis system release 9.1*. Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- Serra, X., Ruiz Ramírez, J., Arnau, J., & Gou, P. (2005). Texture parameters of *Biceps femoris* from dry-cured hams as a function of water activity and water content. *Meat Science*, 69, 249-254.
- Toldrá, F., & Flores, M. (1998). The role of muscle proteases and lipases in flavour development during the processing of dry-cured ham. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 331-352.
- Toldrá, F., Flores, M., & Sanz, Y. (1997). Dry-cured ham flavour: enzymatic generation and process influence. *Food Chemistry*, 59(4), 523-530.
- Ventanas, J., Córdoba, J. J., Antequera, T., García, C., López-Bote, C., & Asensio, M. A. (1992). Hydrolysis and Maillard reactions during ripening of Iberian ham. *Journal of Food Science*, 57(4), 813-815.
- Vestergaard, C. S., & Parolari, G. (1999). Lipid and cholesterol oxidation products in dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 397-401.
- 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(6), 1183-1186.
- WHO, World Health Organisation (2007). Reducing the Salt Intake in Populations. *Report of a WHO forum and technical meeting*, 5-7 October 2006, Paris, France.
- WHO/ISH, World Health Organization/International Society of Hypertension Writing Group. (2003). 2003 World Health Organization (WHO)/International Society of Hypertension (ISH) statement on management of hypertension. *Journal of Hypertension*, 21, 1983-1992.

A continuació es mostren resultats no publicats de recomptes microbiològics practicats en mostres de múscul *Biceps femoris* de pernils reestructurats, assecats a 5 i 15 °C, seguint el disseny experimental que es descriu a l'estudi mostrat a aquest mateix apartat.

Destacar que no s'han trobat diferències significatives ($p > 0,05$) en allò relatiu a recomptes d'enterobacteris, bacteris de l'àcid làctic, *Listeria monocytogenes* i *Staphy-*

lococcus aureus ($< 10^2$ c.f.u./g), ni en *Salmonella sp.* (absència en 25 g de mostra), entre pernils amb un contingut convencional de sal i pernils amb reducció del contingut de NaCl i addició de K-lactat.

Contràriament, en pernils amb un contingut reduït de NaCl i sense addició de K-lactat s'han trobat recomptes de bacteris aerobis mesòfils i de bacteris de l'àcid làctic significativament superiors (veure **Taula 5.4.8.**).

Taula 5.4.8. Recompte de bacteris indicadors en pernils curats reestructurats, processats a 5 i 15 °C, segons es descriu en aquest **Apartat 4** de resultats.

TRACTAMENT DE SALATGE	CONTROL (30 g NaCl/kg) (n=8)	REDUCCIÓ CONTINGUT NaCl (15 g NaCl/kg) (n=8)	REDUCCIÓ CONTINGUT NaCl (15 g NaCl/kg) I ADDICIÓ DE K-LACTAT (19,7 g K-Lactat/kg) (n=8)
Aerobis mesòfils ^A	6,63 ^b	7,96 ^a	6,27 ^b
Bacteris de l'àcid làctic ^A	5,95 ^b	7,96 ^a	6,59 ^b

^A Valors expressats com a \log_{10} u.f.c./g

^{a,b} Lletres diferents indiquen diferències significatives ($p < 0,05$) entre tractaments de salatge.

CAPÍTOL 6: DISCUSSIÓ GENERAL



DISCUSSIÓ GENERAL

Tenint en compte els resultats presentats, es poden plantejar diferents actuacions per a obtenir productes carnis amb contingut reduït de sodi/sal.

6.1. Disminució de la quantitat de sal adicionada

Basant-se en la disminució de la quantitat de sal adicionada, caldria considerar els següents punts:

6.1.1. Aspectes relatius a la selecció de la matèria primera

A l'estudi experimental corresponent a l'**Apartat 1** del **Capítol 5** s'ha evidenciat els efectes que exerceixen el pH i el contingut de greix intramuscular (factors intrínsecs de la matèria primera) sobre la captació i la distribució dels ions salins durant els processos de salatge i post-salatge.

S'ha mostrat l'existència d'un efecte significatiu del valor de pH a les 24 h *post-mortem* (pH_{24}), a nivell del múscul *Semimembranosus* (SM), sobre la quantitat absorbida d'ions (Na^+-Cl^- , $K^+-lactat^-$, en solució aquosa); sent major a músculs amb $pH_{24} < 5,6$ o $> 5,9$ que a músculs amb valors de pH_{24} dins el rang 5,6-5,9. En estudis previs d'Arnau, Guerrero, Casademont i Gou (1995) i Ruiz-Ramírez, Arnau, Serra i Gou (2005), que assajaren en peces de pernil amb

diferents valors de pH_{24} i salats per via seca, també evidenciaren que, finalitzat el seu processat, existien diferències significatives en el contingut de NaCl de músculs *Semimembranosus* i/o *Biceps femoris* segons el seu pH_{24} . Les hipòtesis que explicarien aquest fet es troben àmpliament descrites al subapartat **2.2.1.2.** de la introducció.

Conseqüentment, a fi de poder estandarditzar les condicions de procés i obtenir productes crus-curats amb una qualitat similar dins un mateix lot de producció, es suggereix considerar aquest paràmetre en el procés de selecció de la matèria primera. Si bé per a l'assoliment d'un contingut de NaCl preestablert a la peça càrnia (estàndard o reduït), es podria implementar un escurçament de l'etapa de salatge escollint peces enteres amb un $pH_{24} < 5,6$ o $> 5,9$, aquesta opció seria contraproductiva. Per una banda, la selecció de peces amb un valor de pH_{24} baix s'ha relacionat, per part d'alguns autors, amb l'obtenció de productes carnis crus-curats amb una excessiva pal·lidesa, sequedat superficial i aparició d'esquerdes musculars; també podrien presentar major pastositat, color anòmal de la llesca i encrostat (García-Rey, García-Garrido, Quiles-Zafra, Tapiador i Luque de Castro, 2004), i per altres amb poca duresa i elevada cohesivitat a nivell de la superfície (Ruiz-Ramírez, Arnau,

Serra i Gou, 2006). Per altra banda, l'elecció de peces amb un valor de pH_{24} elevat podria suposar un risc de contaminació i proliferació microbiana durant el processat. Així doncs, per a elaborar productes carnis curats de peça entera amb una qualitat acceptable seria recomanable seleccionar peces amb valors de pH_{24} no extrems; és a dir, dins un rang aproximat de 5,6–6,0. Tot i que aquest rang dependrà del punt on es mesuri el pH, normalment es recomana un múscul blanc de difícil mesura (p.ej. *Semimembranosus*).

Pel fet que en el citat estudi també s'ha observat un efecte significatiu del contingut de greix intramuscular sobre la difusivitat dels ions salins, es suggereix prendre en consideració aquest atribut de composició en la selecció de la matèria primera. La significança de l'efecte d'aquest factor està recolzada pels resultats experimentals de Wood (1966) i Fox (1980), que van observar que les proporcions del coeficient D per a NaCl entre fracció magra i greixosa eren de l'ordre de 1/20 i 1/8, respectivament.

Tecnològicament es tractaria de dur a terme una selecció de la matèria primera a processar, a fi de poder garantir una gruixària del greix subcutani i un contingut de greix intramuscular similars (Gou, Guerrero i Arnau, 1995; Guerrero, Gou, Alonso i Arnau, 1996; García-Rey, Quiles-Zafra i Luque de Castro, 2006) en

peces càrnies enteres que constituïrien un mateix lot de producció.

6.1.2. Modificació de les operacions de processat

Una reducció de la quantitat de NaCl addicionada a una peça càrnia, en un procés de salatge amb sal justa, genera gradients de concentracions de NaCl menors, entre regions superficials i internes, que els corresponents a l'addició d'una quantitat estàndard de sal. I, conseqüentment, es produeix una disminució del flux de sal i d'aigua, atenant-se a que el seu transport té lloc mitjançant mecanismes difusius. És quelcom que condiciona indirectament tant l'assoliment d'una estabilitat microbiològica adequada, finalitzades les primeres etapes, com d'una minva de pes suficient acabat el processat. Llavors, caldria implementar diferents modificacions en el procés que permetessin garantir una qualitat final adequada.

Per a assolir, al final del post-salatge, una estabilitat microbiològica adequada es podrien implementar estratègies que facilitessin l'absorció i la distribució de la sal dins els productes carnis amb contingut reduït de sal. La utilització de peces de pernils reestructurades (com les utilitzades en l'**Apartat 4** del capítol de resultats) permet disminuir la gruixària de la peça i, per tant, el recorregut dels

ions salins per a assolir les regions més internes.

Tal com s'ha evidenciat a l'estudi de l'**Apartat 1** de resultats, i prèviament a estudis de Djelveh i Gros (1988) i de Gros, Dussap i González-Méndez (1984), un increment de la temperatura durant els primers estadis de processat permet accelerar significativament la difusió dels ions salins i, també, de l'aigua (Comaposada, Gou i Arnau, 2000). No obstant, l'aplicació de temperatures inferiors a 5 °C és un factor determinant per a mantenir l'estabilitat microbiològica durant el salatge i post-salatge.

També caldria considerar l'efecte de l'allargament de la durada de les diferents etapes de processat com a estratègia per a obtenir productes carnis de contingut reduït de sodi/sal amb una qualitat acceptable. Una prolongació temporal del procés de post-salatge permetria millorar la distribució de la sal addicionada i, simultàniament, obtenir una adequada deshidratació: minves de pes properes a 15% finalitzat el post-salatge, en pernils curats (segons Arnau, Gou i Comaposada, 2003). Amb aquestes minves s'assoleixen valors d' $a_w \leq 0,960$, que permetrien garantir l'estabilitat microbiològica del producte (Leistner i Gorris, 1995) finalitzat el post-salatge. No obstant, amb les mateixes minves en productes amb un contingut reduït de sal no s'assoleixen els mateixos valors d' a_w . Per tant, en aquest últim cas, s'haurien

d'ajustar els temps o minves objectius de cada etapa del procés en funció de l'activitat d'aigua assolida. Tenint en compte que l' a_w en productes carnis ve determinada principalment pels seus continguts de sal i aigua (Comaposada i col., 2000), el coneixement de les distribucions de sal i aigua en pernils al llarg del procés permetria ajustar els citats temps i minves objectius per a cada etapa.

A l'**Apartat 2** de resultats s'ha avaluat la distribució radial d'aquests dos components a un model cilíndric de carn picada, fent ús dels balanços de massa d'aigua i sal i de l'equació de Stefan-Maxwell (GSM). Tant les condicions de procés (temperatura, humitat relativa i flux de l'aire) com el contingut de NaCl inicial per a elaborar el model carni són considerats *inputs* pel model matemàtic. Per tant, davant una modificació d'aquests paràmetres i de la durada del procés, així com de la quantitat de sal addicionada (estàndard o reduïda), l'aplicació d'aquest model matemàtic permet conèixer les distribucions espaials d'aigua i sal durant tot el processat d'un producte carni. Destacar que la seva utilització permet monitoritzar l'evolució de les minves de pes per a un tipus de producte carni determinat, ja que els coeficients de difusivitat aplicats a l'equació GSM, com els estimats a l'**Apartat 2**, depenen del tipus de producte carni (picat, peça entera,...).

Una tècnica no destructiva que permetria conèixer també la distribució dels continguts local d'aigua i sal al llarg del processat d'un producte carni, previ calibratge de l'equip, és la tomografia computeritzada (TC). Aquesta ha estat recentment proposada per part de Fulladosa, Santos-Garcés, Picouet i Gou (2010), per a monitoritzar la distribució de sal i aigua durant les primeres etapes de processat de productes carnis de peça entera.

Mentre que el model matemàtic aplicat a l'**Apartat 2** de resultats permet fer un estudi predictiu de la distribució d'aigua i sal, per a un tipus de producte carni, només modificant els paràmetres de procés entrats, la TC permet observar *in situ* el perfil de distribucions d'aquests dos components, de forma puntual al llarg del processat, independentment de les condicions de procés aplicades al producte carni.

També es requeriria dur a terme un ajustament del període i de la temperatura d'assecatge a fi que productes carnis amb un contingut reduït de NaCl poguessin assolir una minva de pes equivalent a la dels convencionals. A l'**Apartat 4** del **Capítol 5** s'ha observat la influència del temps i la temperatura de procés sobre la minva final de pes en pernills reestructurats. S'ha evidenciat la necessitat de perllongar el procés d'assecatge en pernills amb un contingut de NaCl reduït, per tal d'assolir la

mateixa minva. Per altra banda, Comaposada i col. (2000) estudiaren l'efecte del contingut de sal sobre les isoterms de desorció de mostres de carn salada sotmeses a un procés d'assecatge. Determinaren que a un valor d' a_w preestablert, una disminució del contingut de sal provoca també una disminució del contingut d'aigua a nivell de la superfície. Aquesta relació descrita, conjuntament amb l'obtinguda a l'estudi mostrat a l'**Apartat 2**, corresponent a l'existència d'una dependència entre el transport de sal i d'aigua i el contingut d'aigua local, permeten donar una explicació al fet que una reducció del contingut de NaCl disminueix el flux de sal i aigua a través de la matriu càrnia. Si durant l'assecatge es considera que un transport intern alentit pot afectar la transferència externa d'aigua, aquesta nova dinàmica explicaria, en part, el fet que productes amb un contingut reduït de NaCl requerissin d'un període d'assecatge major per a assolir una minva de pes objectiu determinada.

En allò relatiu a l'ajustament de les condicions tèrmiques, Comaposada i col. (2000) també observaren que, per a un valor d' a_w determinat, a mesura que s'incrementa la temperatura va disminuint el contingut d'aigua local. Llavors, sembla evident que assecar a temperatures elevades (és a dir, dins el rang de 25–35 °C) ajudaria a assolir la minva de pes preestablerta amb menys

temps. Malgrat això, a l'estudi de l'**Apartat 4** s'ha evidenciat que aquesta opció d'increment tèrmic no és factible en pernil reestructurat amb un contingut reduït de sal si l'assecatge es duu a terme a una temperatura superior a 15 °C. S'ha observat que un assecatge a una temperatura constant de 25 °C, des de la finalització del post-salatge, propicia un evident deteriorament dels pernills reestructurats; causat principalment per la proliferació microbiana. No obstant, s'hauria d'estudiar com pot influenciar l'aplicació d'un increment tèrmic gradual, durant el procés d'assecatge, sobre la qualitat final de productes amb un contingut reduït de NaCl.

6.1.3. Aspectes sensorials del producte final

En estudis previs de Toldrà i Flores (1998) i de Flores, Barat, Aristoy, Peris, Grau i Toldrà (2006) es va evidenciar que una reducció de la quantitat de sal afegida propiciava l'aparició d'una major activitat proteolítica en pernills curats. Similarment, a l'estudi mostrat com a **Apartat 4** del capítol anterior, pernills reestructurats amb una reducció del contingut de NaCl han mostrat índexs proteolítics significativament superiors als corresponents a pernills amb un contingut estàndard de sal. Atribució bioquímica que ha propiciat que aquests mateixos pernills mostrin menor duresa, reològicament parlant (menor F_0 i majors

Y_{90} i Y_2 , segons *test de relaxació*: Morales, Guerrero, Serra i Gou, 2007), malgrat no observar-se des d'un punt de vista sensorial.

Segons aquest mateix estudi experimental (**Apartat 4**), una reducció del contingut de NaCl no semblaria afectar ni a l'homogeneïtat del color, ni a la intensitat del vermell de la llesca de pernills reestructurats. I, com és d'esperar, la reducció de la sal afegida a un 50% propicia que es percebin com a menys salats i picants, i més dolços que els convencionals; resultats que també varen observar Guàrdia, Guerrero, Gelabert, Gou i Arnau (2008) en llonganisses on s'aplicà una reducció equivalent d'aquest ingredient.

En pernills curats amb una reducció del contingut de NaCl, s'esperaria que un increment de la durada del procés d'assecatge, a temperatures controlades ≤ 15 °C (segons estudi de l'**Apartat 4**), propiciés tant la millora de la distribució de la NaCl com l'assoliment d'una minva de pes major. Aquests dos aspectes ajudarien a incrementar l'acceptació d'aquests productes carnis, minimitzant el risc de textures defectuoses i millorant l'homogeneïtzació del gust salat a tota la peça.

6.2. Addició de lactat potàssic

En allò relatiu als efectes de l'addició de K-lactat en productes carnis amb

reducció del contingut de NaCl, s'haurien de considerar els següents aspectes:

6.2.1. Efectes relacionats amb l'absorció dels ions salins

Durant el salatge de productes carnis crus-curats de peça entera, a les regions més superficials és on té lloc l'intercanvi d'aigua entre la matriu càrnia i la salmorra saturada que hi roman en contacte, i també és on es disposen els ions salins. Per a facilitar els mecanismes difusius, és recomanable mantenir humitats relatives $\geq 75\%$, pel fet que en estudis de Comaposada i col. (2000) i de Lioutas, Bechtel i Steinberg (1984) es va observar una disminució abrupta del contingut d'aigua a valors d' a_w propers a 0,75; provocada per la nul·la o poca absorció d'aigua deguda a la cristallització de la sal. En cas d'haver fluctuacions higromètriques fins valors inferiors al 75%, l'addició de K-lactat podria aportar un benefici tecnològic. A l'estudi corresponent a l'**Apartat 3** s'ha evidenciat que la presència de K-lactat (en un 30% i/o 100% a la formulació de sals) permet disminuir el valor d' a_w al qual té lloc aquesta disrupció, produint-se a valors d' a_w inferiors al rang 0,65–0,70. Per tant, davant petites fluctuacions en la cambra de salatge/post-salatge, l'addició de K-lactat podria reduir el risc de cristallització de les sals i facilitar el transport intern d'ions.

Si bé existeixen estudis molt recents relatius a l'efecte de la presència de sals inorgàniques clorades diferents de NaCl (KCl, CaCl_2 i MgCl_2) en formulacions de salmorra sobre la cinètica de penetració dels ions salins Na^+ i Cl^- en llom curat (Aliño, Grau, Baigts i Barat, 2009) i pernil curat (Blesa, Aliño, Barat, Grau, Toldrà i Pagan, 2008), no s'han trobat referències sobre l'efecte relatiu a la presència de lactat potàssic. A l'estudi experimental mostrat a l'**Apartat 1** del capítol de resultats, s'ha evidenciat que la presència de l'ió lactat a la salmorra no afecta significativament ni a la captació, ni a la difusió de l'anió clorur.

També, en el mateix estudi, s'ha observat que la presència de l'anió K^+ a una salmorra no saturada amb NaCl podria disminuir la captació de Na^+ . En el salatge de lloms en pila amb sal seca, Aliño i col. (2009) han obtingut recentment uns resultats similars. En ambdós estudis, aquesta observació ha dut a concloure que els dos cations posseeixen velocitats de penetració diferents. Fet que condiciona l'existència de diferències entre les proporcions Na^+/K^+ preestablertes a la formulació de sals i/o la salmorra i les quantificades a la matriu càrnia. L'addició de K-lactat a la sal (en pila o en salmorra) modificaria, per tant, la captació de Na^+ . Evidentment, aquest fet no s'observa quan s'aplica sal justa, on tota la sal és captada.

Per últim, destacar que pel fet que a l'article corresponent a l'**Apartat 4** s'ha observat que el contingut de K-lactat present a la matriu càrnia és inferior a l'esperat, una fracció del lactat absorbit podria esdevenir substrat fermentable, sota condicions anaeròbiques, per microorganismes constituents de la microbiota autòctona i/o contaminant (Liu, 2003; Rodríguez, Nuñez, Córdoba, Bermúdez i Asensio, 1998). Per tant, en cas d'utilitzar K-lactat s'hauria d'assegurar la seva estabilitat en les condicions del procés de salatge. Aquesta podria ser una limitació important en processos de salat en pila o en salmorra, on es fa una reutilització de les sals o salmorres durant molt temps.

6.2.2. Aspectes relacionats amb el procés d'assecatge

Des del punt de vista de transport intern, l'addició de K-lactat en productes carnis de peça entera amb quantitat de NaCl reduïda pot propiciar un increment dels gradients d'ions generats entre regions superficials i internes. Tal com s'ha esmentat anteriorment, i emparant-se amb resultats de l'estudi presentat com a **Apartat 2**, aquest increment de soluts a la matriu càrnia ajudaria a augmentar el flux d'aigua cap a la superfície. Així doncs, l'addició de K-lactat com a un constituent de la formulació de sals podria propiciar una

acceleració de la transferència externa d'aigua.

A més, durant el procés d'assecatge, els productes carnis estan sotmesos a una disminució gradual de la humitat relativa atmosfèrica (dins el rang de 80-60%) i a un increment progressiu de la temperatura de procés (Arnau, 2004; Pegg, 2004). Es força un intercanvi actiu d'aigua entre la matriu càrnia i l'aire circumdant, a través de la superfície exposada. L'existència d'una relació entre la quantitat d'aigua disponible per a ser intercanviada (a_w) i el contingut d'aigua de la superfície, en equilibri amb el que allotja l'aire en contacte directe amb aquesta, permeté que Comaposada i col. (2000), entre altres, poguessin determinar com afecta una reducció del contingut de NaCl sobre la dinàmica d'assecatge de sistemes carnis. Però, fins al moment, no s'ha trobat dades publicades sobre quin podria ser el paper del K-lactat sobre aquesta dinàmica, quan aquest es planteja com a substitut parcial i/o total de NaCl en l'elaboració de productes carnis amb reducció del contingut de NaCl. Els resultats de l'**Apartat 3** del capítol anterior han evidenciat que la seva presència pot modificar les isoterms de desorció de productes carnis. Considerant el rang de valors d' a_w que assoleixen els productes carnis durant l'assecatge ($0,600 \leq a_w \leq 0,800$), una substitució molar de NaCl per K-lactat permetria incrementar el

contingut d'aigua present a la superfície de la peça càrnia dins aquest rang de valors. Atenent que aquests valors d' a_w equivalen a continguts d'aigua $\leq 0,4$ kg/kg matèria seca, i que en estudis previs de Serra, Ruiz-Ramírez, Arnau i Gou (2005) i Ruiz-Ramírez, Arnau, Serra i Gou (2005) es va observar que, a aquests continguts, una lleugera disminució pot augmentar el risc d'encrostat superficial, l'addició de K-lactat semblaria aportar un benefici tecnològic (protector de l'encrostat superficial), fent-se més patent a temperatures elevades (25 °C).

6.2.3. Efectes sobre l'estabilitat microbiològica del producte final

Diversos estudis han demostrat la capacitat de les sals de lactat d'exercir un control sobre la microbiota alteradora i patògena en productes carnis. Pipek, Houska, Jelenikova, Kyhos, Hoke i Sikulova (2005), Anderson i Marshall (1989) i Prasai, Acuff, Lucia, Morgan, May i Savell (1992), entre altres autors, han avaluat el seu efecte, addicionant-lo en percentatges de l'ordre de 1-3%.

Existeixen poques referències relatives a l'efecte bacteriostàtic de K-lactat en productes carnis crus-curats de peça entera i/o picats. Gou, Garriga, Guerrero, Valero, Andorrà, Cubiñá i Arnay (1998), en fuet, varen observar que l'addició de K-lactat corresponent a 10 i 30 g/kg d'una solució al 60% de puresa

provocava una davallada del recompte de bacteris aerobis mesòfils i de l'àcid làctic, respecte els fuets control, als 9 dies d'assecatge a temperatures < 15 °C. Per contra, en mostres de múscul *Biceps femoris* de pernils reestructurats, assecats a 5 i 15 °C (segons disseny experimental de l'estudi de l'**Apartat 4** de resultats) no s'han trobat diferències significatives, en allò relatiu a recomptes de bacteris aerobis mesòfils i de l'àcid làctic, entre pernils control i pernils amb reducció del contingut de sal al 50% i addició de K-lactat en un 30% de substitució molar de NaCl. Mentre que, en pernils reestructurats amb reducció de NaCl i sense addició de K-lactat, els seus recomptes han estat significativament superiors (**Taula 5.4.8.**). Conseqüentment segons aquests resultats obtinguts, el lactat potàssic mostra cert efecte bacteriostàtic similar al del NaCl, bé disminuint l' a_w , bé interferint en el metabolisme bacterià.

Així doncs, semblaria ser que el seu ús, a substitucions molars del 30% i en les condicions de processat assajades al citat estudi, podria ajudar a garantir l'estabilitat microbiològica de productes carnis crus-curats amb un contingut reduït de NaCl.

6.2.4. Efectes sobre aspectes bioquímics i sensorials del producte acabat

La capacitat del K-lactat de disminuir l' a_w (establint ponts d'hidrogen amb les molècules d'aigua) i d'incrementar el pH de la matriu càrnia, li confereixen la funcionalitat de controlar l'activitat proteolítica. A l'estudi experimental mostrat com a **Apartat 4** de resultats, la seva addició corresponent al 30% de substitució molar de la quantitat de NaCl estàndard (30 g/kg), en pernills curats reestructurats amb una reducció del 50% del contingut de NaCl, ha reduït de forma significativa l'activitat enzimàtica, estimada mitjançant l'índex de proteòlisis, fins a nivells no diferents als de pernills amb un contingut convencional de NaCl. Aquesta reducció en l'activitat enzimàtica explicaria que aquests mateixos pernills també haguessin mostrat un major grau de duresa, mesurada instrumentalment. No obstant, aquestes diferències en textura no han estat detectades sensorialment de forma significativa per un panell d'experts.

Destacar també que la seva funcionalitat, sigui bacteriostàtica sigui de control de l'activitat enzimàtica, pot veure's condicionada per la seva naturalesa orgànica. Tal com s'ha citat prèviament, una part del lactat absorbit pot ser utilitzat com a font de carboni

per part de microorganismes anaerobis presents a les regions més internes de les peces càrnies.

En allò relatiu als atributs del gust, és d'esperar que una reducció al 50% de la quantitat de sal condicioni significativament la percepció d'un gust salat. S'ha citat a la introducció que el K-lactat posseeix la propietat de potenciar el gust salat. Malgrat això, en l'**Apartat 4** de resultats, no s'ha evidenciat que l'addició corresponent a una substitució del 30% molar de la quantitat estàndard de NaCl augmentés significativament el gust salat.

I, en allò relatiu als atributs visuals i colorimetria, l'addició de K-lactat en la substitució molar assajada no semblaria afectar ni a l'homogeneïtat del color, ni a la intensitat del vermell de la llesca dels pernills reestructurats. Prèviament, Fulladosa i col. (2009) obtingueren resultats similars per aquest mateix model de producte carni de peça entera.

Finalment, destacar que la seva presentació comercial (en solució aquosa) pot dificultar la seva aplicació en productes carnis crus-curats de peça entera en cas de no fer el salatge mitjançant immersió en salmorra. En el cas de salatge en pila de sal, s'hauria de avaluar l'aplicació del k-lactat per injecció.

REFERÈNCIES

- Aliño, M., Grau, R., Baigts, D., & Barat, J. M. (2009a). Influence of sodium replacement on the salting kinetics of pork loin. *Journal of Food Engineering*, 95(4), 551-557.
- Anderson, M. E., & Marshall, R. T. (1990). Reducing microbial population on beef tissues: concentration and temperature of lactic acid. *Journal of Food Safety*, 10(3), 181-190.
- Arnau, J. (2004). Ham production. In W. K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopaedia of Meat Sciences* (pp. 557). Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- 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.
- Amau, 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.
- Blesa, E., Aliño, M., Barat, J. M., Grau, R., Toldrà, F., & Pagán, M. J. (2008). Microbiology and physico-chemical changes of dry cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts. *Meat Science*, 78(1-2), 135-142.
- Comaposada, J., Gou, P., & Arnau, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55(3), 291-295.
- Djelveh, G., & Gros, J. B. (1988). Measurement of effective diffusivities of ionic and non-ionic solutes through beef and pork muscles using a diffusion cell. *Meat Science*, 23, 11-20.
- Flores, M., Barat, J., Aristoy, M. C., Peris, M., Grau, R., & Toldrà, F. (2006). Accelerated processing of dry-cured ham. Part 2. Influence of brine thawing/salting operation on proteolysis and sensory acceptability. *Meat Science*, 72(4), 766-772.
- Fox, J. B. (1980). Diffusion of chloride, nitrite and nitrate in beef and pork. *Journal of Food Science*, 45(6), 1740-1744.
- Fulladosa, E., Santos-Garcés, E., Picouet, P., & Gou, P. (2010). Prediction of salt and water content in dry-cured hams by computed tomography. *Journal of Food Engineering*, 96(1), 80-85.
- Fulladosa, E., Serra, X., Gou, P., & Arnau, J. (2009). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science*, 82(2), 213-218.
- García-Rey, R. M., García-Garrido, J. A., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J., & Luque de Castro, M. D. (2004). Relationship between pH before salting and dry-cured ham quality. *Meat Science*, 67(4), 625-632.
- García-Rey, R. M., Quiles-Zafra, R., & Luque de Castro, M. D. (2006). Relationships of genotype and slaughter time with the appearance and texture of dry-cured hams. *Food Chemistry*, 94(2), 271-277.
- Gou, P., Garriga, M., Guerrero, L., Valero, A., Andorrà, J., Cubiñá, I., & Arnau, J. (1998). Effect of sodium lactate and potassium bisulphite in a non-acid dry-cured sausage of reduced calibre. *Fleisch wirtschaf International*, 1/2, 30-35.
- Gou, P., Guerrero, L., & Arnau, J. (1995). Sex and crossbreed effects on

- the characteristics of dry-cured ham. *Meat Science*, 40(1), 21-31.
- Gros, J. B., Dussap, C. G., & González-Méndez, N. (1984). Solute diffusivities in meat. A review. En: *Engineering and Food*. Vol. 1. *Engineering Sciences in the food industry*. Ed. Brian; Mc.Kenna, Elsevier Applied Science Publisher, Yanmouth.
- Guàrdia, M. D., Guerrero, L., Gelabert, J., & Arnau, J. (2008). Sensory characterisation and consumer acceptability of small calibre fermented sausages with 50% substitution of NaCl by mixtures of KCl and potassium lactate. *Meat Science*, 80, 1225-1230.
- 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(3), 267-273.
- Guerrero, L., Gou, P., Alonso, P., & 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(4), 526-530.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurement. En: P. J. Bechtel (Ed.). *In Muscle as Food* (pp. 135). New York, Academic Press.
- Leistner, L., & Gorris, L. G. M. (1995). Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science & Technology*, 6(2), 41-46.
- 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(6), 1382-1385.
- Liu, S. Q. (2003). Practical implications of lactate and pyruvate metabolism by lactic acid bacteria in food and beverages fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 83, 115-131.
- Morales, R., Guerrero, L., Serra, X., & Gou, P. (2007). Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. *Meat Science*, 76, 536-542.
- Offer, G., & Knight, P. (1988). Chapter 3: The structural basis of water-holding in meat. Part 1: General Principles and Water Uptake in Meat Processing. London: Lawrie, R. En: *Developments in Meat Science - 4* (pp. 63-171). Elsevier Science Publishers LTD.
- Pegg, R. B. (2004). Production procedures. In W. K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopaedia of Meat Sciences* (pp. 359). Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- Pipek, P., Houska, M., Jelenikova, J., Kyhos, K., Hoke, K., & Sikulova, M. (2005). Microbial decontamination of beef carcasses by combination of steaming and lactic acid spray. *Journal of Food Engineering*, 67(3), 309-315.
- Prasai, R. K., Acuff, G. R., Lucia, L. M., Morgan, J. B., May, S. G., & Savell, J. W. (1992). Microbial effects of acid decontamination of pork carcasses at various locations in processing. *Meat Science*, 32(4), 413-423.
- Rodríguez, M., Núñez, F., Córdoba, J. J., Bermúdez, M. E., & Asensio, M. A. (1998). Evaluation of proteolytic activity of micro-organisms isolated from dry cured ham. *Journal of Applied Microbiology*, 85, 905-912.
- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2006). 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. *Meat Science*, 72, 185-194.
- Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Arnau, J., & Gou, P. (2005). Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-

crusted dry-cured loin. *Meat Science*, 69(3), 519-525.

Ruiz-Ramírez, J., Serra, X., Arnau, J., & Gou, P. (2005). Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin. *Meat Science*, 69(3), 519-525.

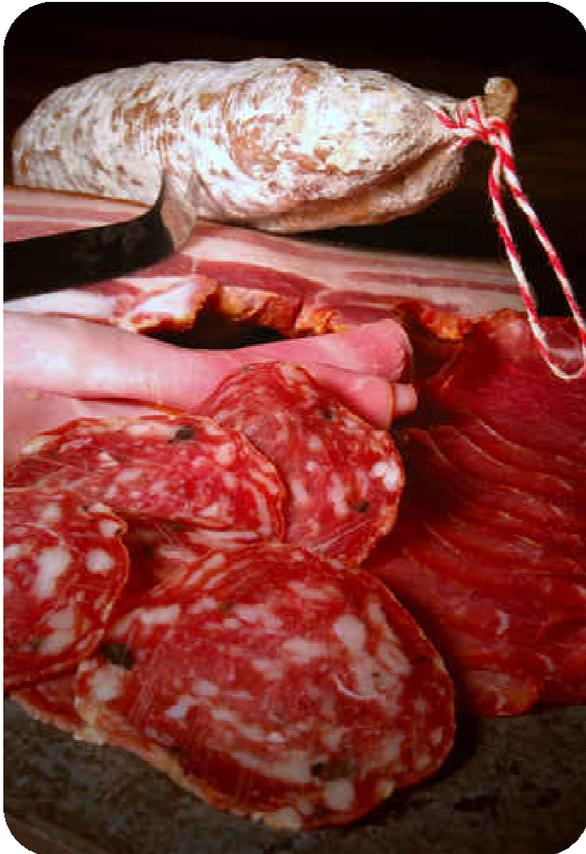
Serra, X., Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., & Gou, P. (2005). Texture parameters of dry-cured ham *m. biceps femoris* samples dried at different levels as a function of water

activity and water content. *Meat Science*, 69(2), 249-254.

Toldrá, F., & 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 and Nutrition*, 38(4), 331-352.

Wood, F. W. (1966). The diffusion of salt in pork muscle and fat tissue. *Journal of Science Food Agriculture*, 17(3), 138-140.

CAPÍTOL 7: CONCLUSIONS GENERALS



7.1. Referents a la captació de sals

- * El pH de la matèria primera a les 24 h *post-mortem* afecta a la captació de la sal durant el procés de salatge. Per tant, una selecció de la matèria primera permetria obtenir peces dins el mateix lot de producció amb un contingut de sal similar.
- * El contingut de greix intramuscular condiona la difusivitat dels ions des de fases primerenques del processat de productes carnis. Així doncs, dur a terme una selecció de les peces càrnies a processar en base al seu contingut de greix permetria obtenir productes finals corresponents al mateix lot amb unes característiques homogènies.
- * El K-lactat addicionat fins a un 30% de substitució molar de la quantitat de NaCl estàndard (30 g/kg), en productes carnis crus-curats amb un contingut reduït de NaCl, no modifica significativament ni l'absorció, ni la distribució de l'ió Cl⁻.

7.2. Referents a la distribució de sals a través de la matriu càrnia

- * La difusió de l'ió lactat a través de la matriu càrnia és més lenta que la dels ions clorur, sodi i potassi. Per tant, i també donat el seu efecte bacteriostàtic, en productes carnis de peça entera amb contingut reduït de

NaCl, s'ha d'estudiar si aquest fet influeix tant en la necessitat de perllongar la durada del post-salatge com en l'estabilitat microbiològica del producte carni.

- * En el processat de productes carnis crus-curats de peça entera, el K-lactat addicionat com a constituent de la formulació de sals redueix el risc de cristallització de la sal i facilita el transport intern dels ions salins en cas que s'arribessin a assolir humitats relatives inferiors al 75% a les cambres de salatge i post-salatge.
- * L'equació de Stefan-Maxwell pot ser aplicada tant per a predir el perfil de continguts locals d'aigua i sal d'un producte carni cru-curat com les seves minves de pes al llarg del processat.

7.3. Referents a l'assecatge de productes carnis

- * En productes carnis de peça entera amb una reducció de NaCl de fins el 50%, la presència de K-lactat corresponent a una substitució molar del 30% accelera la transferència de massa interna i externa al llarg del processat, permetent assolir la minva final de pes objectiu amb menys temps.
- * Malgrat observar-se que, dur a terme l'assecatge de pernills amb os i

reestructurats amb un contingut estàndard de sal a temperatures > 15 °C, accelera tant la difusivitat dels ions salins com la transferència externa d'aigua, en pernils reestructurats amb un contingut reduït de NaCl, el processat a aquestes temperatures compromet la seva seguretat.

- * L'addició de K-lactat augmenta el contingut d'aigua per a un valor determinat d' a_w i, per tant, pot disminuir el risc d'encrostat superficial durant el procés d'assecatge de productes carnis, quan es duu a terme a humitats relatives de 60–80%.
- * El K-lactat, en una substitució molar del 30% de NaCl, en productes carnis de peça entera amb reducció del contingut de NaCl al 50% i assecats a temperatures ≤ 15 °C redueix els recomptes de bacteris indicadors (aerobis mesòfils i de l'àcid làctic).

7.4. Referents a la qualitat dels productes carnis

- * Malgrat que una reducció de la quantitat de NaCl afegida incrementa l'activitat proteolítica, un augment de la durada del procés d'assecatge fins assolir minves finals del 40% a temperatures inferiors de 15 °C ajuda

a augmentar l'acceptació d'aquests productes carnis.

- * L'addició de K-lactat, en una substitució de 19,7 g/kg, en productes carnis de peça entera amb reducció del contingut de NaCl, disminueix l'activitat proteolítica, reduint-se conseqüentment el risc d'aparició de textures anòmales.
- * Afegir K-lactat en productes amb reducció del contingut de NaCl, fins a una substitució molar del 30% (19,7 g/kg), no afecta significativament sobre els atributs visuals ni al gust salat.
- * En general, el K-lactat es presenta com un bon substitut de NaCl en productes carnis amb reducció del contingut de sal, pel seu demostrat efecte bacteriostàtic, pels beneficis que aporta durant el processat i pel fet que no modifica significativament als atributs sensorials de productes carnis de peça entera.

7.5. Proposta de futures recerques

Durant el desenvolupament del present treball experimental s'ha detectat l'existència de diversos aspectes que actualment no estan coberts pel coneixement i que poden esdevenir una proposta d'estudi en pròximes recerques dins l'àmbit de l'enginyeria i processat de productes

carnis. Es tracta dels punts llistats a continuació:

- * Pel fet que els resultats obtinguts han evidenciat la utilitat de l'equació de Stefan-Maxwell per a estudiar la difusió simultània d'aigua i sal en una massa picada durant el procés d'assecatge, es podria plantejar la seva aplicació per a l'estudi de la transferència de massa d'aquests dos components en productes carnis de peça entera. No obstant, per a dur-ho a terme, caldria considerar el fet que aquests productes són heterogenis en composició i estructura. I, en aquest aspecte, l'aplicació d'una tècnica no destructiva com la tomografia computeritzada (TC) pot jugar un paper important per a conèixer la distribució del greix i dels paquets musculars. També cal considerar que els paràmetres de procés (temperatura i humitat relativa) són canviants al llarg del seu processat i, així doncs, condicionen aquests mecanismes difusius.
- * En el present estudi experimental s'ha estudiat l'ús de lactat potàssic com a substitut de NaCl en masses càrnies picades i en productes reestructurats. Donat el format de presentació comercial del K-lactat, en cas de desitjar-se implementar aquesta estratègia en productes carnis de peça entera, caldria estudiar quina tècnica és la més adient: injecció o immersió en salmorra de K-lactat, a fi d'obtenir productes carnis d'un contingut reduït de sal/sodi amb una qualitat equivalent a la dels convencionals.
- * L'estudi aquí presentat s'ha dut a terme aplicant substitucions molars de NaCl per K-lactat fins al 30%. Seria interessant estudiar quin pot ser l'efecte de substitucions molars superiors d'aquesta sal orgànica sobre les característiques organolèptiques de diferents productes carnis cruscurats amb un contingut reduït de sal.

CAPÍTULO 8:

ANNEX

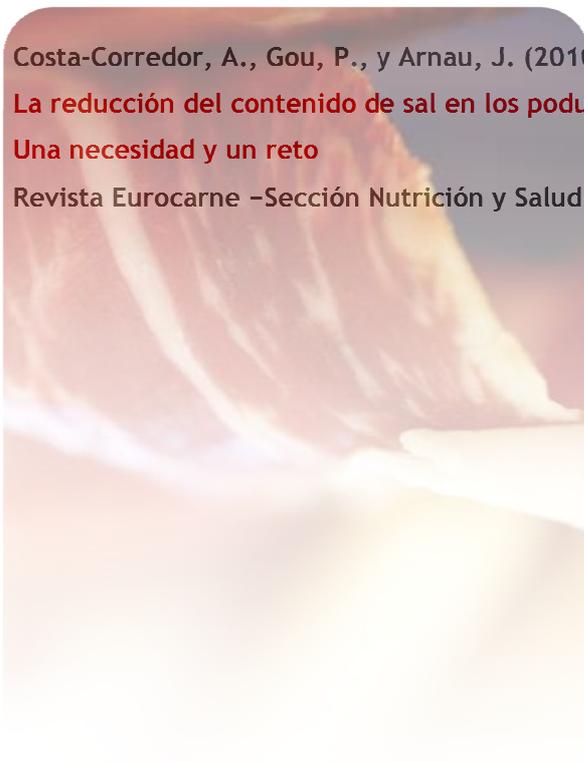


Costa-Corredor, A., Gou, P., y Arnau, J. (2010)

La reducción del contenido de sal en los productos cárnicos.

Una necesidad y un reto

Revista Eurocarne –Sección Nutrición y Salud–, nº 184 (Marzo 2010), 156–170



LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE SAL EN LOS PRODUCTOS CÁRNICOS. UNA NECESIDAD Y UN RETO



Anna Costa Corredor

Pere Gou Botó

Jacinto Arnau Arboix

Unidad de Ingeniería y Procesado de Alimentos
IRTA - Tecnología de los Alimentos

Introducción

La industrialización, el incremento poblacional, el desarrollo económico de un país y la globalización del mercado son factores que están muy estrechamente ligados a las mejoras relativas al suministro de alimentos y, consecuentemente, a una gradual

eliminación de las deficiencias nutricionales de la población. Estos factores han provocado rápidos cambios en los hábitos alimentarios, en las pautas de alimentación y en los patrones de actividad física de la población europea principalmente a lo largo de las últimas décadas. En general, nuestra sociedad ha protagonizado cambios drásticos en el

estilo de vida (Lake, Adamson, Hyland y Mathers, 2004; King, Mainous III, Carnemolla y Everett, 2009), asistiendo a la aparición de un fenómeno evolutivo, de carácter histórico, social, económico y político, que afecta a la salud y al estado nutricional individual y colectivo. Este fenómeno se referencia, en la bibliografía, como “nutrición transicional” (Drewnowski y Popkin, 1997).

Actualidad: nutrición transicional

Unas ingestas de alimentos en abundantes raciones y con una densidad calórica elevada, ricas en grasas y pobres en hidratos de carbono complejos y fibra (Cordain, Eaton, Sebastian, Mann, Lindeberg y col., 2005), conjuntamente con un aumento de las opciones alimentarias, la influencia de los medios de comunicación y un estilo de vida sedentario (Popkin, Duffey y Gordon-Larsen, 2005; Popkin, 2006) han provocado significantes modificaciones en la composición corporal, en la morbilidad y mortalidad de la población (COM, 2007).

La evidencia más significativa del grado de incidencia de este fenómeno sobre nuestra sociedad es el incremento de la prevalencia de ciertas enfermedades crónicas y trastornos relacionados con la alimentación (enfermedades cardiovasculares, hiper-

tensión, obesidad, diabetes, osteoporosis, enfermedades dentales y algunos tipos de tumor, entre otros, según Popkin y Gordon-Larsen (2004). De este listado de patologías, destacar que la hipertensión arterial afectaba a un 38% de la población europea en el año 2007, y que las enfermedades cardiovasculares emergen actualmente como la principal causa de mortalidad en muchas regiones de Europa (COM, 2008). Y previsto es que en el año 2020 estas patologías crónicas sean el principal motivo de mortalidad de tres cuartas partes de la población de los países desarrollados (Aboderin, Kalache, Ben-Shlomo, Lynch, Yajnik, Kuh y Yach, 2002).

Frente a esta problemática epidemiológica, la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003, 2004), conjuntamente con la Comisión Europea (COM, 2007) y los gobiernos de los estados miembros de la UE, empiezan a puntear la nutrición y la promoción de unos buenos hábitos alimentarios como factores determinantes para modular la prevalencia de tales enfermedades.

Pero, a la par, la población europea está concienciada, cada vez más, que la alimentación no sólo es una herramienta para satisfacer el hambre y proveer nuestro organismo de los nutrientes necesarios; la población empieza a entender que la alimentación también ayuda a prevenir enfermedades relacionadas con el estado nutricional y

mejora el bienestar físico y mental (Menrad, 2003; COM, 2006).

Figura 8.1. Recomendaciones dietéticas de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003).

- * Controlar el balance energético (ingesta versus gasto) para el óptimo mantenimiento ponderal.
- * Incrementar sustancialmente los niveles de actividad física a lo largo de toda la vida.
- * Reducir la ingesta calórica procedente de las grasas.
- * Disminuir el consumo de alimentos ricos en ácidos grasos saturados y trans, en detrimento de los insaturados.
- * Aumentar el consumo de frutas, verduras/ hortalizas i de otros productos de origen vegetal, prefiriendo los de presentación integral.
- * Reducir el consumo de alimentos ricos en azúcares.
- * Disminuir el consumo de sal (sodio) procedente de todas las fuentes, y prefiriendo, en todo caso, la sal yodada.

Salud, alimentación y recomendaciones dietético-nutricionales

Las pautas de alimentación de las distintas regiones europeas mantienen una estrecha relación con la cultura, la tradición y con sus condiciones

socioeconómicas. Actualmente coexisten dos patrones dietéticos en Europa: el propio de las regiones mediterráneas y el patrón del resto de países europeos (de culturas del norte de Europa). A pesar de esta diferenciación a grandes rasgos existe un marcado gradiente socioeconómico en los hábitos alimentarios de la población europea (COM, 2003). La comparación de los datos relativos a las ingestas de alimentos (EuroFIR, 2005) es esencial para disminuir la prevalencia de las enfermedades crónicas (**Tabla 8.1.**). Estos datos, conjuntamente con los obtenidos de estudios epidemiológicos (WHO/FAO, 1998) pueden ayudar a identificar unas buenas prácticas para lograr una disminución de la morbilidad y mortalidad poblacionales. Se estima que el 80% de los casos de enfermedades cardiovasculares, el 90% de los casos de diabetes tipo 2 y una tercera parte de los tumores se podrían, teóricamente, evitar si la población siguiera unas buenas pautas en lo relativo a la alimentación, a la ingesta de alcohol, la realización de actividad física y al tabaquismo (COM, 2005).

Las recomendaciones de la OMS (**Figura 8.1.**) se complementan con unos rangos orientativos de ingestas de los principales nutrientes y de ciertos grupos de alimentos, dentro del concepto de alimentación equilibrada, variada y suficiente, para asegurar el manteni-

miento de un adecuado estado nutricional individual y de la salud pública (Tabla 8.2.).

El Tratado de la Unión Europea (1992) dio un impulso al ámbito de la Salud Pública, introduciendo en el Tratado Constitutivo de la Comunidad Económica Europea (1957) un artículo específico: el artículo 152 (Unión Europea, 2006). Tal artículo obliga, a la Comisión Europea y a cada estado miembro de la UE, a adquirir el compromiso de establecer acciones que tengan como fin la promoción y la mejora de la salud, la prevención de la enfermedad y evitar fuentes de peligros para la salud.

Salud pública dentro del marco legislativo y político europeo y español

El término “salud” es definido, por la OMS, como el estado de completo bienestar físico, mental y social, y no sólo ausencia de enfermedad (WHO, 1946). Es un derecho prioritario y fundamental de cualquier ciudadano. Consecuentemente es necesario garantizar un elevado nivel de protección de la salud en la definición y aplicación de todas las políticas y actividades comunitarias (Decision No. 1786/2002/EC).

Tabla 8.1. Predicción de la reducción de las muertes por enfermedad cerebrovascular y cardiovascular con la reducción de la ingesta de sal en Europa (adaptado de He y MacGregor, 2003).

	REDUCCIÓN DE LA INGESTA DIARIA DE SAL (SODIO)					
	3 g sal/ día (50 mmol Na ⁺ /día)		6 g sal/ día (100 mmol Na ⁺ /día)		9 g sal/ día (150 mmol Na ⁺ /día)	
	Presión sistólica	Presión diastólica	Presión sistólica	Presión diastólica	Presión sistólica	Presión diastólica
Caída mínima de la presión sanguínea (mm Hg)	2,5	1,4	5,0	2,8	7,5	4,2
Reducción de la mortalidad por enfermedad cerebrovascular (%)	12	14	23	25	32	36
Reducción de la mortalidad per enfermedad cardiovascular (%)	9	10	16	19	23	27

Colateralmente, en estos últimos años, a través de distintos estudios, se ha evidenciado una correlación positiva entre el consumo de sal y la presión sanguínea arterial (Jones, 2004; Karppanen y Mervaalaa, 2006; He y MacGregor, 2008). Otros estudios sugieren que una ingesta elevada de sal puede causar hipertrofia del ventrículo izquierdo y un elevado riesgo de sufrir enfermedades cerebrovasculares y cardiovasculares (Perry, 2000; Meneton,

Jeunemaitre, de Wardener y MacGregor, 2005).

En respuesta a ello, en el año 2008, la Plataforma Europea de Acción sobre Alimentación, Actividad Física y Salud (dentro de la DG SANCO) abrió un frente para impulsar la disminución del consumo de sal a nivel de toda la UE. Entre los puntos claves de actuación se contemplan acciones de reformulación de los productos alimenticios, a nivel de la industria alimentaria y el sector de la restauración.

Tabla 8.2. Rangos de ingesta orientativa para la población (adaptada de WHO, 2003).

FACTOR DIETÉTICO	% ORIENTATIVO DEL TOTAL DE INGESTA ENERGÉTICA DIARIA
Grasa total	15-30%
Ácidos grasos saturados (SFA*)	< 10%
Ácidos grasos poliinsaturados (PUFA*)	6-10%
Ácidos grasos poliinsaturados n - 6	5-8%
Ácidos grasos poliinsaturados n - 3	1-2%
Ácidos grasos <i>trans</i>	< 1%
Ácidos grasos monoinsaturados (MUFA ^c)	per diferencia ^a
Glúcidos totales	55-75% ^b
Azúcares ^c	< 10%
Proteína	10-15% ^d
Colesterol	< 300 mg
Cloruro sódico (sodio)^e	< 5 g (< 2 g)
Frutas, verduras y hortalizas	≥ 400 g
Fibra dietética total	> 25 g ^f
Fibra dietética insoluble	> 20 g ^g

* Les abreviaturas para los ácidos proceden de la denominación inglesa, siendo las utilizadas por la correspondiente publicación fuente.

^a Se calcula como: grasa total - (ácidos grasos saturados + ácidos grasos poliinsaturados + ácidos grasos *trans*).

^b Porcentaje de energía total disponible después de considerar lo que se ha consumido procedente de proteínas y grasas, genéricamente.

^c Hace referencia a todos los monosacáridos y disacáridos añadidos en los alimentos durante el procesado, la cocción y por parte del consumidor final, además de los azúcares presentes de forma natural en los alimentos (miel, siropes, zumos de fruta, etc.).

^d Rango sugerido por los expertos de la OMS/FAO/UNU.

^e Se aconseja que la sal sea preferentemente yodada.

^f Procedente de frutas, verduras, hortalizas y cereales integrales.

^g Procedente principalmente de alimentos integrales.

De las 12 categorías o grupos de alimentos identificados dentro la acción, se solicita a cada uno de los estados miembros de la UE que elijan un mínimo de 5 categorías para empezar la acción dentro de su plan nacional. En relación a esta iniciativa europea, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), para el previo conocimiento de la ingesta de sodio a nivel de la población española, encargó a finales del año 2008, un estudio de encuestas de consumo, a la Universidad Complutense de Madrid; y el análisis de una muestra representativa de productos alimenticios presentes en el mercado, para determinar su contenido de sal/sodio, a la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU).

Del estudio poblacional se concluyó cuál es la cantidad de sal ingerida por individuo y día (estimada en 9,7 g/día) y cuáles son las principales fuentes dietéticas de sodio (AESAN, 2009): en la población española se estima que el 79,0 ± 10,3% (promedio del 72%) del sodio total ingerido a diario proviene del consumo de alimentos procesados y restauración; mientras que la sal añadida durante el cocinado y el consumo de los alimentos en el hogar representa el 21,0 ± 10,3% (promedio del 20%). Son datos similares a los promedios obtenidos a nivel europeo, con estudios homólogos. En lo referente a los alimentos que contribuyen más en el aporte de

sodio/sal a través de la dieta, se obtuvieron los resultados representados en la **Tabla 8.3**.

Tabla 8.3. Principales fuentes alimentarias de sodio en la dieta de la población española (AESAN, 2009).

GRUPOS DE ALIMENTOS	% APORTE DE SODIO EN LA DIETA
Productos cárnicos	26,16
Derivados cárnicos curados	17,08
Jamón curado	11,73
Chorizo	3,87
Salchichón	1,42
Fuet	0,06
Derivados cárnicos cocidos	7,61
Jamón y pavo	4,73
Salchichas	2,15
Foie gras y patés	0,34
Mortadela	0,31
Chóped	0,07
Pan	19,06
Leche y derivados lácteos	15,60
Productos de la pesca	7,23
Platos preparados	4,85
Carnes frescas	4,01
Sopas y cremas	4,01
Salsas	3,24
Verduras y hortalizas	3,01
Repostería	2,20
Otros cereales	1,99
Huevos y ovoproductos	1,69
Azúcares y dulces	1,60
Olivas y variantes	1,46
Galletas	1,25
Aperitivos salados	1,03
bebidas	0,85
Frutas y derivados	0,27
Mantequilla y margarina	0,23
Legumbres	0,16
Condimentos	0,11

De ella se desprende que los productos cárnicos son los alimentos que más contribuyen al aporte de sodio en nuestra dieta.

Como consecuencia de este estudio, en junio de 2009, el gobierno español se comprometió a disminuir, en 4 años, el contenido de sal de los productos cárnicos, del pan y similares, de los quesos y platos preparados (EU Platform on Diet, Physical Activity and Health, 2009), con respecto los valores del año 2008.

Puntualizar que, nutricionalmente hablando, “sal” y “sodio” son términos a menudo utilizados como sinónimos. A pesar de ello, el sodio sólo constituye el 40% del peso seco de la sal (NaCl). Así pues, las recomendaciones relativas a la ingesta diaria de sodio son globalmente interpretadas como orientaciones en el consumo de sal.

La reducción del contenido de sal en los alimentos: buscando estrategias factibles

La ingesta de sodio está justificada por el mero hecho que es el principal catión de nuestro fluido extracelular. También es el responsable de múltiples funciones fisiológicas relacionadas con el mantenimiento de la homeóstasis y el potencial de membrana de las células. Se estiman unos requerimientos fisiológicos de sodio entre 80 i 100 mmol/día

(equivalente a 1,84-2,30 g diarios) para adultos sanos (IOM, 2004; FAO/WHO, 2005). Estas necesidades fisiológicas corresponden a una ingesta diaria de sal de casi 6 gramos. Actualmente, en los países miembros de la UE, se consume un promedio diario de 3 a 5 g de sodio; es decir de 8 a 11 g sal (He y MacGregor, 2008).

La OMS, fruto de distintos estudios previos (He y MacGregor, 2003), considera necesaria una reducción de la ingesta de sodio diaria en 100 mmol (correspondientes a 6 g de sal). Disminución del consumo de sal que permitiría reducir en un 23% la mortalidad producida por enfermedades cerebrovasculares, y en un 16% las cardiovasculares (**Tabla 8.1.**). Por ello, recomienda una ingesta de sal objetivo inferior a 5 g (2 g sodio). Esta cantidad también incluye cualquier fuente de sodio (como los aditivos alimentarios sódicos, **Tabla 8.4.**).

Para aplicar tal recomendación, a nivel individual se requiere de un cierto grado de motivación que conlleve la realización de ciertos cambios conductuales relacionados con la adquisición y compra de los alimentos (preferencia por alimentos nada o poco procesados, lectura de la información nutricional del etiquetaje para la selección de alimentos y discriminación de productos según la técnica de conservación utilizada) y su tratamiento

(restricciones en la adición de sal durante la preparación y el consumo en el hogar). Puesto que la extensión de estos buenos hábitos a toda la población puede ser una estrategia fallida, cabe buscar soluciones más globales. Así pues, la única alternativa existente, tal como se considera desde la UE, es la de iniciar acciones que disminuyan el contenido de sal de los productos alimenticios procesados. Sólo de esta forma se podrá alcanzar una respuesta a medio plazo a nivel epidemiológico, por el hecho que no sólo se repercute a nivel individual, sino a nivel colectivo; y de forma sustancial.

Tabla 8.4. Cantidad de sodio aportada per algunos aditivos alimentarios, en comparación con la cantidad de sodio aportado por el NaCl (adaptado de Doyle, 2008).

ADDITIVOS ALIMENTARIOS SÓDICOS	USO TÍPICO EN LOS ALIMENTOS	% SODIO EN SU FORMULACIÓN QUÍMICA
Cloruro	1,5-2%	39,34%
Benzoato	0,1%	15,95%
Diacetato	0,1-0,4%	16,18%
Lactato	1,5-3%	20,51%
Propionato	0,3%	23,93%
Sorbato	0,3%	17,14%
Nitrito	0,012%	33,32%
Ácido pirofosfato	0,35%	20,72%
Tripolifosfato	0,35%	31,24%
Pirofosfato	0,35%	34,57%
Hexametafosfato	0,35%	22,55%

La carne y sus derivados en nuestra alimentación

La carne es, indudablemente, una de las principales fuentes de proteína de alto valor biológico de muchos países desarrollados (Bender, 1992). También una excelente fuente de nutrientes esenciales: hierro, selenio, zinc y vitaminas del grupo B (B₁, B₁₂, B₉,...) (Moreiras, Carbajal y Cuadrado, 2007), que en otros alimentos no están presentes; o bien lo están, pero con una biodisponibilidad menor.

Por este motivo no puede ser eliminada de una pauta de alimentación saludable y variada; principalmente de ciertos grupos poblacionales considerados de riesgo: enfermos, tercera edad, mujeres gestantes, niños/as y adolescentes (Biesalski, 2005).

La carne fresca contiene una cantidad muy pequeña de sodio: unos 70 mg/100 g (Moreiras y col., 2007).

La sal, como ingrediente esencial en la elaboración de los productos cárnicos, es la principal fuente de sodio en éstos (Tabla 8.5.).

A grosso modo, las razones por las cuales se utiliza la sal para la producción de derivados cárnicos se pueden clasificar considerando las tres grandes funcionalidades de la sal, haciendo todas ellas referencia a sus propiedades funcionales específicas (Hutton, 2002).

Tabla 8.5. Perfil nutricional de productos cárnicos crus-curados y cocidos (adaptada de Moreiras y col., 2007).

PER CADA 100 GRAMOS DE PORCIÓN COMESTIBLE	PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDOS CURADOS				PRODUCTOS CÁRNICOS COCIDOS		
	JAMON CURADO	SALAMI	SALCHICHÓN	LOMO CURADO	JAMÓN COCIDO	MORTADELA	SALCHICHAS FRANKFURT
Energía (Kcal)	241	459	454	386	105	311	303
Proteína (g)	31,0	18,5	25,8	50,0	18,4	14,0	12,0
Lípidos totales (g)	13,00	42,00	38,10	20,70	3,10	27,00	27,00
Ácidos grasos saturados (g)	4,40	14,80	12,30	6,70	—	9,40	9,71
Ácidos grasos monoinsat. (g)	5,09	17,20	15,93	8,65	—	11,29	11,93
Ácidos grasos poliinsat. (g)	1,26	3,20	5,83	3,17	—	4,17	4,31
n-3 (g)	0,09	0,06	0,49	0,27	—	3,67	0,36
n-6 (g)	1,13	—	3,81	2,79	—	0,03	3,81
Colesterol (mg)	70,00	80,00	72,00	69,00	45,00	72,00	65,00
Glúcidos totales (g)	0	1,8	2	0	1	3	3
Fibra dietética total (g)	0	0	0	0	0	0	0
Agua (g)	55,90	37,70	34,10	29,30	77,50	56,00	58,00
Minerales							
Calcio (mg)	12,7	17,0	15,0	20,0	9,6	13,0	13,0
Hierro (mg)	2,3	2,2	2,4	3,7	2,1	2,2	1,8
Magnesio (mg)	17,1	12,0	10,0	20,0	17,5	9,0	9,0
Zinc (mg)	2,2	—	1,7	2,6	2,8	2,9	1,4
Sodio (mg)	1110,0	1800,0	1060,0	1470,0	970,0	668,0	778,0
Potasio (mg)	160,0	240,0	207,0	230,0	270,0	207,0	180,0
Fósforo (mg)	180,0	208,0	260,0	180,0	92,0	160,0	107,0
Vitaminas							
Tiamina (mg)	0,57	0,29	0,20	0,80	0,46	0,33	0,20
Riboflavina (mg)	0,25	0,20	0,21	0,25	0,18	0,21	0,20
Equivalentes niacina (mg)	6,70	3,30	10,00	12,00	3,20	5,90	3,00
Vitamina B ₆ (mg)	0,41	0,25	0,15	—	0,20	0,05	0,03
Vitamina E (mg)	0,08	0,40	0,28	—	0,08	0,11	0,25

—: dato no disponible.

La primera funcionalidad está relacionada con su acción bacterios-tática, frenando la proliferación microbiana (Lenovich, 1987), o bien controlando indirectamente, promoviendo cambios a nivel de los componentes de la matriz cárnica. La segunda hace referencia a su función tecnológica, la actividad enzimática en la matriz cárnica (Toldrá, 2002; Martín, Córdoba, Antequera, Timón y Ventanas, 1998) y aumentando la capacidad de retención de agua de las proteínas miofibrilares (Xiong, 2005). La tercera funcionalidad de la sal es la relativa a su acción modificadora de ciertos aspectos organolépticos: sabor, color (Fernández-López, Sayas-Barberá, Pérez-Álvarez y Aranda-Catalá, 2004), textura (Arnau, 1991; Parolari, Virgili y Schivazappa, 1994) y aroma (Andrés, Cava, Martín, Ventanas y Ruiz, 2005).

Declaraciones nutricionales en el etiquetaje de productos cárnicos, atendiendo a su contenido de sal/sodio

En el año 2006, complementando la Directiva 2000/13/CE relativa al etiquetaje de los alimentos, en la cual se prohíbe la información que pueda inducir al error al consumidor, se legisla el Reglamento (CE) 1924/2006, relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables de los alimentos. Referente a la información del contenido de sodio/sal en el etiquetaje, en su

anexo especifica las posibles declaraciones nutricionales y condiciones aplicables:

- **“Contenido reducido de sodio/sal”**, sólo aplicable si la reducción es de, como mínimo, una diferencia del 25% respecto a los valores de contenido de sodio/sal del producto alimenticio homólogo.
- **“Bajo contenido de sal/sodio”** sólo se podrá declarar si el producto no contiene más de 0,12 g sodio, o su valor equivalente de sal, por 100 g o por 100 mL de producto.
- **“Muy bajo contenido de sodio/sal”** para productos que no contengan más de 0,04 g sodio, o su valor equivalente de sal, por cada 100 g o 100 mL.
- **“Sin sodio o sin sal”**, sólo para alimentos que no contengan más de 0,005 g de sodio, o su valor equivalente de sal, por cada 100 g o 100 mL.

Y, como consecuencia, aplicando tal disposición, los productos cárnicos (crudos-curados y/o cocidos), si bien no se pueden englobar dentro del grupo de alimentos “sin”, “muy bajo” y “bajo” contenido de sodio/sal, considerar que actualmente se han iniciado estrategias para la elaboración de productos cárnicos con “contenido reducido de sodio/sal”.

Plantear una reducción del contenido de sal de un producto cárnico requiere de la adopción de una serie de estrategias, actuando a nivel del proceso de selección de la materia prima y de los sistemas de transformación (formulación y procesado).

A continuación detallamos cada una de ellas:



Disminución de la cantidad de sal añadida

Existen distintas referencias bibliográficas que concluyen cuáles pueden ser las cantidades orientativas mínimas de sal a añadir en distintos grupos de productos cárnicos, para mantener una calidad aceptable: 2,5%

para productos crudo-curados tipo salami (Pëtäja, Kukkonen y Puolanne, 1985); entre 1,5 y 1,7% en productos cocidos picados (Ruusunen y Puolanne, 2005); 1,8-2,0% en jamón cocido (Ruusunen y Puolanne, 2005).

Como estrategias para alcanzar una mayor disminución de la cantidad de sal añadida, manteniendo la misma calidad que el producto convencional, se han planteado las siguientes:

- **Selección de la materia prima.** En estudios de Gou, Guerrero y Arnau (1995) y de Guerrero, Gou, Alonso y Arnau (1996) se relacionaron las características genéticas de la materia prima (espesor de la grasa subcutánea, contenido de grasa intramuscular y conformación de piezas de jamón) con parámetros de textura y color del corte del jamón curado, considerando, con ello, cuáles eran las mejores líneas genéticas para la obtención de este producto cárnico. Más recientemente, García-Rey, Quiles-Zafra y Luque de Castro (2006) también estudiaron cuáles son los mejores cruzamientos (♀ x ♂) para obtener jamones curados con una calidad adecuada, según evaluación sensorial de textura y color del corte. Concluyeron que era (LR x LW) x DU, seguido de (LR x LW) x DU, donde “DU” es Duroc, “LR” es Landrace y “LW” es Large White. García-Rey, García-Garrido, Quiles-

Zafra, Tapiador y Luque de Castro (2004), atendiendo al pH como parámetro que permite realizar una válida selección de la materia prima destinada a la producción de jamones curados, clasificaron las piezas en pH bajo ($\text{pH} < 5,5$) y pH normal ($\text{pH} > 5,5$) para caracterizarlas. Un pH de valor próximo a 6,0 a las 24 h *postmortem* se considera el idóneo para la elaboración de jamón curado, según Arnau, Guerrero, Casademont y Gou (1995).

- **Modificación de las operaciones de procesado.** La reducción del contenido de sal exige la utilización de técnicas que aceleren el proceso de salado; es decir, que faciliten la absorción y distribución de la sal dentro de la matriz cárnica. Costa-Corredor, Serra, Arnau y Gou (2009) deshuesaron piezas de jamón y reestructuraron sus paquetes musculares con preparados que contenían la enzima transglutaminasa, para estudiar el efecto de la reducción del contenido de sal y su sustitución molar con lactato potásico sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final, obteniéndose resultados satisfactorios.
- **Cambios en la formulación del producto cárnico.** Ruusunen, Vainionpää, Lyly, Lähteenmäki, Niemistö, Ahvenainen y Puolanne



estudiaron el efecto de los porcentajes graso y magro sobre la intensidad y percepción del sabor salado en productos cárnicos cocidos con contenido reducido de sal. Concluyeron que la intensidad del sabor salado está correlacionado positivamente con el contenido de grasa e, inversamente, con el contenido de carne magra. Observación que concluye que se requiere buscar estrategias para incrementar la aceptabilidad de productos cárnicos bajos en contenido de sal y también de grasa. En productos cárnicos cocidos con contenido reducido de sal, la adición de sales fosfatadas (tripolifosfato

sódico, pirofosfatos tetrasódicos y tetrapotásicos) ayuda a disminuir las mermas derivadas de la cocción (Knipe, Rust y Olson, 1990; Ruusunen, Niemistö y Puolanne, 2002). Su adición provoca un incremento del pH de la carne en 0,2 unidades; y, así pues, un aumento de la capacidad de retención de agua (Hamm, 1986). El uso de la enzima transglutaminasa, mezclada con proteínas alimentarias y polisacáridos, ha sido estudiado para la obtención de diferentes emulsiones cáрни-cas cocidas (Jarmoluk y Pietrasik, 2003), carne reestructurada (Kerry, O'Donnell, Brown, Kerry y Buckley, 1999) y jamones curados reestructurados con contenido reducido de sal (Costa-Corredor, Serra, Arnau y Gou, 2009). Otros estudios han elegido la utilización de fibras dietéticas, por sus propiedades funcionales y tecnológicas, para ser añadidas como ingrediente en productos cárnicos (Jiménez-Colmenero, Cofrades, López-López, Ruiz-Capillas, Pintado y Solas, 2010).

Utilización de potenciadores del sabor salado

Existe un amplio abanico de compuestos que, por si solos, no ceden un sabor salado; pero utilizados en combinación con el NaCl tiene la propiedad de intensificar el sabor salado de los alimentos, e incluso mejorar su

palatabilidad (Phelps, Angus, Clegg, Kilcast, Narain y Ridder, 2006). Actúan activando receptores del sabor de la boca y del paladar, ayudando a compensar la disminución de la percepción del sabor salado dada por la reducción del contenido de sal del alimento ingerido (Brandsma, 2006). Se trata de péptidos y aminoácidos (glicina, lisina, taurina y arginina, los más utilizados), procedentes de la hidrólisis química de proteínas de origen vegetal.

El glutamato monosódico, en combinación con nucleótidos (el inosinato disódico o E-631 y el guanilato disódico o E-627), se han propuesto para trabajar sinérgicamente, ampliando la intensidad del sabor en alimentos (Barytko-Pikielna y Kostyra, 2007). En productos cárnicos cocidos, como excepción, Ruusunen, Simolin y Puolanne (2001) observaron que la percepción del gusto y la palatabilidad eran mayores sólo con glutamato monosódico que en el conjunto.

Especies e hierbas aromáticas son, a menudo, utilizadas para proporcionar sabor y aroma y, a la vez, enmascarar la reducción del contenido de sal en el alimento.

Sustitución total o parcial del NaCl con otras sales

Es difícil encontrar sustancias que puedan sustituir eficientemente la sal,

poseyendo las propiedades funcionales previamente listadas de la sal.

Por un lado, las **sales inorgánicas** más utilizadas para la elaboración de productos cárnicos con contenido reducido de NaCl son los compuestos clorados de potasio (KCl), de calcio (CaCl_2) y magnesio (MgCl_2). El KCl se plantea como el sustituto de NaCl más utilizado, atendiendo a su garantía de preservar las funcionales propias del NaCl. En jamones, Frye, Hand, Calkins y Mandigov (1986) obtuvieron, con una sustitución del 50% de NaCl por KCl, excelentes resultados en el ligado de las piezas musculares. Gou, Guerrero, Gelabert y Arnau (1996) lo utilizaron hasta un 30% de sustitución en salchichones, y en lomo curado hasta el 40% de sustitución, sin observar alteración de la textura, y con la misma aceptabilidad que los convencionales. Añadir que el poder bacteriostático del KCl es similar al del NaCl a la misma proporción molar (Bidlas y Lambert, 2008).

Referente al cloruro de magnesio y de calcio, Blesa, Aliño, Barat, Grau, Toldrá y Pagán (2008) los adicionaron, con distintos porcentajes a formulaciones de salmueras, para obtener jamones con un contenido reducido de NaCl. Obtuvieron buenos resultados en lo relativo a la estabilidad microbiológica del producto final.



Por otro lado, considerando la opción de **sales orgánicas sódicas**, las de fosfato, lactato, ascorbato, diacetato y glutamato son las más utilizadas; aportando, por un mismo peso, una menor cantidad de sodio que el NaCl. Si a este hecho se le añade la capacidad bacteriostática de sus ácidos orgánicos (especialmente el lactato), se posicionan como alternativa a la sustitución parcial de sal en productos cárnicos. En especial, las sales potásicas y sódicas de lactato son ampliamente utilizadas en la industria cárnica por sus beneficios en la reducción de la actividad de agua a iguales concentraciones molares que el NaCl; por su efecto específico en el

control de la microbiota alterante y patógena (Velugoti, Rajagopal, Juneja y Thippareddi, 2007), con adiciones del orden de 1-3% al producto final; y la mejora del color de la carne (Kim, Keeton, Smith, Maxim, Yang y col., 2010), protegiendo la mioglobina de la oxidación rápida.

Modificación física de la forma de la sal

Esta estrategia no requiere de la participación de otros componentes químicos. Se origina basándose en el principio que la percepción del sabor salado depende del tamaño de los cristales y de su forma en estado cristalino. Los copos de sal y los cristales dendríticos, comparando con la sal granulada, ofrecen una mejora en las propiedades funcionales de la sal en emulsiones cárnicas: se absorben y se solubilizan más rápido, aumentando la solubilidad proteica y disminuyendo la merma por coacción (Campbell, 1979). Atendiendo a la primera mejora citada, la utilización de sales no granuladas en productos cárnicos crudos-curados, durante el proceso de salado, puede plantearse como una estrategia para la obtención de productos con reducción del contenido de sal.

Este listado de estrategias es meramente orientativo; referido a los resultados obtenidos con el desarrollo de distintos estudios.

Plantear la reducción del contenido de sodio de un producto cárnico específico requiere de un estudio exhaustivo individual, en el cual se deberá considerar su composición y estructura, procesado y aspectos tecnológicos, características organolépticas y de seguridad, para poder seleccionar la mejor estrategia sin que merme su calidad y aceptabilidad.

Agradecimientos

Esta publicación ha sido elaborada con la ayuda de la Unión Europea, en el marco de dos Proyectos Integrados del 6º Programa Marco: TRUEFOOD (FOOD-CT-2006-016264) y Q-PORK-CHAINS (FOOD-CT-2007-036245).

Los contenidos de esta publicación son únicamente responsabilidad de los autores y no puede considerarse en modo alguno que reflejen las opiniones de la Unión Europea.

Bibliografía

Aboderin, I., Kalache, A., Ben-Shlomo, Y., Lynch, J.W., Yajnik, C.S., Kuh, D., y Yach, D. (2002). Life Course Perspectives on Coronary Heart Disease, Stroke and Diabetes: Key Issues and Implications for Policy and Research. Geneva, World Health Organization.

AESAN (2009). Plan de reducción del consumo de sal. Menos sal es más salud. Estrategia NAOS. Jornadas de debate.

- Andrés, A. I., Cava, R., Martín, D., Ventanas, J., y Ruiz, J. (2005). Lipolysis in dry-cured ham: Influence of salt content and processing conditions. *Food Chemistry*, 90, 523-533.
- Arnau, J. (1991). Aportaciones a la calidad tecnológica del jamón curado e laborado por procesos acelerados. Thesis, Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Veterinaria, Spain.
- Arnau, J., Guerrero, L., Casademont, G., y Gou, P. (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry-cured hams during processing. *Food Chemistry*. 52 (1), 63-69.
- Baryłko-Pikielna, N., y Kostyra, E. (2007). Sensory interaction of umami substances with model food matrices and its hedonic effect. *Food Quality and Preference*, 18(5), 751-758.
- Bender, A. (1992). Meat and meat products in human nutrition in developing countries. *FAO Food and Nutrition Paper* 53. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1992.
- Bidlas, E., y Lambert, R. J. W. (2008). Comparing the antimicrobial effectiveness of NaCl and KCl with a view to salt/sodium replacement. *International Journal of Food Microbiology*, 124(1), 98-102.
- Biesalski, H. K. (2005). Meat as a component of a healthy diet - are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? *Meat Science*, 509-524.
- Blesa, E., Aliño, M., Barat, J. M., Grau, R., Toldrá, F., y Pagán, M. J. (2008). Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts. *Meat Science*, 78, 135-142.
- Brandsma, I. (2006). Reducing sodium: a European perspective. *Food Technology*, 60(3), 25-29.
- Campbell, J. F. (1979). Binding properties of meat blends, effects of salt type, blending time and post-blending storage. Ph.D. Thesis, Michigan State University.
- Commission of the European Communities (COM, 2005). 675 final. Green paper: Promoting healthy diets and physical activity: a European dimension for the prevention of overweight, obesity and chronic diseases. Brussels, 08.12.2005.
- Commission of the European Communities (COM, 2006). Eurobarometer on Health and Food.
- Commission of the European Communities (COM, 2007). 279 final. White Paper on A Strategy for Europe on Nutrition, Overweight and Obesity related health issues. Brussels, 30.05.2007.
- Commission of the European Communities (COM, 2009). National Salt Initiatives implementing the EU Framework for salt reduction initiatives.
- Commission of the European Communities. DG SANCO Health & Consumers (COM, 2008). Major and Chronic diseases. Report 2007.
- Commission of the European Communities. DG SANCO Health & Consumers (COM, 2003). The health status of the European Union. Narrowing the health gap.
- Cordain, L., Eaton, S. B., Sebastian, A., Mann, N., Lindeberg, S., Watkins, B. A., O'Keefe, J., & Brand-Miller, J. (2005). Origins and evolution of the Western diet: health implications for the 21st century. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81, 341-54
- Costa-Corredor, A., Serra, X., Arnau, J., y Gou, P. (2009). Reduction of NaCl content in restructured dry-cured hams: Post-resting temperature and drying level effects on physicochemical and sensory

- parameters. *Meat Science*, 83, 390-397.
- Decision No. 1786/2002/EC** of the European Parliament and of the Council of 23 September 2002 on adopting a programme of Community action in the field of public health (2003-2008). *Official Journal of the European Union*, 9.10.2002, L 271/1-11.
- Directive 2000/13/EC** of the European Parliament and of the Council of 20 March 2000 on the approximation of the laws of the Member States to the labelling, presentation and advertising of foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 6.5.2000, L 109/29.
- Doyle, M. E. (2008)**. Sodium reduction and its effects on food Safety, food Quality, and human health. *UW - FRI Briefings*.
- Drewnowski, A., y Popkin, B. M. (1997)**. The nutrition transition: new trends in the global diet. *Nutrition Reviews*, 55(2), 31-43.
- EU Platform on Diet, Physical Activity and Health (2009)**. EU Framework for National Salt Initiatives.
- European Food Information Resource Network (EuroFIR, 2005)**. WP 2.2 Composite foods. In: Collected information on national trends and databases of composite foods and industrial ingredients in EuroFIR partners. EU 6th Framework Food Quality and Safety Programme (FOOD-CT-2005-513944). National Public Health Institute (KTL), Finland.
- Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J. A., y Aranda-Catalá, V. (2004)**. Effect of Sodium Chloride, Sodium Tripolyphosphate and pH on Color Properties of Pork Meat. *Color Research & Application*, 29(1), 67-74.
- Frye, C. B., Hand, L. W., Calkins, C. R., y Mandigo, R. W. (1986)**. Reduction or replacement of sodium chloride in a tumbled ham product. *Journal of Food Science*, 51, 836-837.
- García-Rey, R. M., García-Garrido, J. A., Quiles-Zafra, R., Tapiador, J., y Luque de Castro, M. D. (2004)**. Relationship between pH before salting and dry-cured ham quality. *Meat Science*, 67, 625-632.
- García-Rey, R. M., Quiles-Zafra, R., y Luque de Castro, M. D. (2006)**. Relationships of genotype and slaughter time with the appearance and texture of dry-cured hams. *Food Chemistry*, 94(2), 271-277.
- Gou, P., Guerrero, L., Gelabert, J., y Arnau, J. (1996)**. Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin. *Meat Science*, 42(1), 37-48.
- Gou, P., Guerrero, L., y Arnau, J. (1995)**. Sex and breed cross effects on dry cured ham characteristics. *Meat Science*, 40, 21-31.
- 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.
- Hamm, R. (1986)**. Functional properties of the myofibrillar system and their measurement. In P. J. Bechtel (Ed.). *Muscle as Food* (pp. 135). New York: Academic Press.
- He, F. J., y MacGregor, G. A. (2003)**. How Far Should Salt Intake Be Reduced? *Hypertension*, 42, 1093-1099.
- He, F. J., y MacGregor, G. A. (2008)**. A comprehensive review on salt and health and current experience of worldwide salt reduction programmes. *Journal of Human Hypertension*, 23, 363-384.
- Hutton, T. (2002)**. Sodium: technological functions of salt in the manufacturing

- of food and drinks products. *British Food Journal* 104 (2): 126 - 152.
- Institute of Medicine (IOM, 2004).** Dietary Reference Intakes: Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate.
- Jarmoluk, A., y Pietrasik, Z. (2003).** Response surface methodology study on the effects of blood plasma, microbial transglutaminase and κ -carrageenan on pork batter gel properties. *Journal of Food Engineering*, 60, 327-334.
- Jiménez-Colmenero, F., Cofrades, S., López-López, I., Ruiz-Capillas, C., Pintado, T., & Solas, M. T. (2010).** Technological and sensory characteristics of reduced/low-fat, low-salt frankfurters as affected by the addition of konjac and seaweed. *Meat Science*, 84(3), 356-363.
- Jones, D. W. (2004).** Dietary sodium and blood Pressure. *Hypertension*, 73, 932-935.
- Karppanen, H., y Mervaala, E. (2006).** Sodium intake and hypertension. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 49(2), 59-75.
- Kerry, J. K., O'Donnell, A., Brown, H., Kerry, J. P., y Buckley, D. J. (1999).** Optimization of transglutaminase as a cold set binder in low-salt beef and poultry comminuted meat products using response surface methodology. In *Proceedings 45th international Congress of meat science and technology* (pp. 140-141), Yokohama, Japan, 1-6 August.
- Kim, Y. H., Keeton, J. T., Smith, S. B., Maxim, J. E., Yang, H. S., y Savell, J. W. (2010).** Evaluation of antioxidant capacity and colour stability of calcium lactate enhancement on fresh beef under highly oxidising conditions. *Food Chemistry*, 115(1), 272-278.
- King, D. E., Mainous III, A. G., Carnemolla, M., y Everett, C. J. (2009).** Adherence to Healthy Lifestyle Habits in US Adults, 1988-2006. *The American Journal of Medicine*, 122, 528-534.
- Knipe, C. L., Rust, R. E., y Olson, D. G. (1990).** Some physical parameters involved in the addition of inorganic phosphates to reduced-sodium meat emulsion. *Journal of Food Science*, 55, 23-25.
- Lake, A. A., Adamson, A. J., Hyland, R. M., y Mathers, J. C. (2004).** Dietary change and perceptions of change over time. *Nutrition Bulletin*, 29, 199-203.
- Lenovich, L. M. (1987).** Survival and death of microorganisms as influenced by water activity. In: Rockland, L. B. & Beuchat, L. R. *Water activity: theory and applications to food* (pp 119-135). Marcel Dekker, Inc., New York.
- Martín, L., Antequera, T., Córdoba, J. J., Timón, M. L., y Ventanas, J. (1998).** Effects of salt and temperature in proteolysis during ripening of Iberian ham. *Meat Science*, 49(2), 145-153.
- Meneton, P., Jeunemaitre, X, de Wardener, H., y MacGregor, G. A. (2005).** Links Between Dietary Salt Intake, Renal Salt Handling, Blood Pressure, and Cardiovascular Diseases. *Physiological Reviews*, 85, 679-715.
- Menrad, K. (2003).** Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*, 56, 181-188.
- Moreiras, O., Carbajal, A., y Cuadrado, C. (2007).** Tabla de composición de alimentos. 11ª edición. Colección Ciencia y Técnica. Ediciones Pirámide (Grupo Anaya), S.A. Madrid.
- 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.

- Perry, I. J. (2000). Dietary salt intake and cerebrovascular damage. *Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases*, 10, 229-235.
- Petäjä, E., Kukkonen, E., y Puolanne, E. (1985). Einfluss des Salzgehaltes auf die Reifung von Rohwurst, *Fleischwirtschaft*, 65, 189-193.
- Phelps, T., Angus, F., Clegg, S., Kilcast, D., Narain, C., y Ridder, C. (2006). Sensory issues in salt reduction. *Food Quality and Preferences*, 17(7-8), 629-634.
- Popkin, B. M. (2006). Technology, transport, globalization and the nutrition transition food policy. *Food Policy*, 31, 554-569.
- Popkin, B. M., Duffey, K., y Gordon-Larsen, P. (2005). Environmental influences on food choice, physical activity and energy balance. *Physiology & Behavior*, 86, 603-613.
- Popkin, B. M., y Gordon-Larsen, P. (2004). The nutrition transition: worldwide obesity dynamics and their determinants. *International Journal of Obesity*, 28, S2-S9
- Regulation (EC) No. 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*, 30.12.2006, L 404/9.
- Ruusunen, M., Niemistö, M., y Puolanne, E. (2002). Sodium reduction in cooked meat products by using commercial potassium phosphate mixture. *Agricultural and Food Science in Finland*, 11, 199-207.
- Ruusunen, M., Simolin, M., y Puolanne, E. (2001). The effect of fat content and flavour enhancers on the perceived saltiness of cooked bologna-type sausages, *Journal of Muscle Foods*, 12, 107-120.
- Ruusunen, M., Vainionpa, J., Lyly, M., Lähteenmäki, L., Niemistö, A., Ahvenainen, R., y Puolanne, E. (2005). Reducing the sodium content in meat products: the effect of the formulation in low-sodium ground meat patties. *Meat Science*, 69, 53-60.
- Ruusunen, M., y Puolanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70, 531-541.
- Toldrá, F. (2002). Dry-cured meat products pp. 1-238. *Food & Nutrition Press, Inc. Trumbull, USA.*
- Unión Europea (2006). Versiones consolidadas del Tratado de la Unión Europea y del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea. *Official Journal of the European Union*, 29.12.2006, C 321 E/7-331.
- Velugoti, P. R., Rajagopal, L., Juneja, V., y Thippareddi, H. (2007). Use of calcium, potassium, and sodium lactates to control germination and outgrowth of *Clostridium perfringens* spores during chilling of injected pork. *Food Microbiology*, 24(7-8), 687-694.
- World Health Organization (WHO, 1946). *Constitution of the World Health Organization*. International Health Conference. New York.
- World Health Organization (WHO, 2003). *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases*. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Geneva, World Health Organization.
- World Health Organization (WHO, 2004). *Food and health in Europe: a new basis for action*. WHO Regional Publications European Series, No. 96.
- World Health Organization/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (WHO/FAO, 1998). *Preparation and use of food-based dietary guidelines*. Report of a Joint FAO/WHO Consultation. Geneva, World Health Organization (WHO Technical Report Series, No. 880).
- World Health Organization/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO/WHO, 2005). A

model for establishing upper levels of intake for nutrients and related substances. Nutrient Risk Assessment. 2-6 May 2005, Geneva, Switzerland.

Xiong, Y. L. (2005). Role of myofibrillar proteins in water-binding in brine-enhanced meats. Food Research

International, 38, 281-287. Knight, P., & Pearson, N. (1988). Action of NaCl and polyphosphates in meat processing: responses of myofibrils to concentrated salt solution. Meat Science, 24, 275-300.